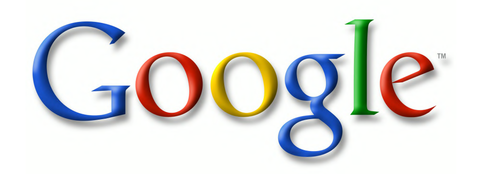




Hydrometrie

Praktische Anleitung zur Wassermessung

Neuere Messverfahren, Apparate und Versuche

Von
Wilhelm Müller
Ingenieur

Mit 81 Abbildungen, 15 Übersichten und 3 Tafeln



Hannover
Verlag von Gebrüder Jänecke
1903

Druck von Gebrüder Jänecke, Hannover

Vorwort.

Überall hat sich die Erkenntnis Bahn gebrochen, dass genaue Messungen zu den wissenschaftlichen Grundlagen für hydrologische Untersuchungen in den Flussgebieten und zu praktischen Vorkehrungen an fliessenden Gewässern gehören, auch schon im Hinblick darauf, dass die Rechtsverhältnisse für die Wasserbenutzung in verschiedenen Staaten in letzter Zeit gesetzlich neu geregelt wurden.

Verfasser hat sich nicht die Aufgabe gestellt, ein Lehrbuch über Hydrometrie zu schreiben, vielmehr nur eine praktische Anleitung zum Wassermessen unter Berücksichtigung der jüngsten Forschungen zu geben. Vorliegende Schrift enthält daher eine gedrängte Übersicht über die verschiedenen Messverfahren, die im allgemeinen zur Anwendung kommen. Durch kurze, gemeinverständliche Darstellung soll der Wasserbautechniker mit dem Wesen der hydrometrischen Apparate vertraut werden, soweit es für die in Rede stehenden Beobachtungen und Messungen erforderlich ist. Zu diesem Zweck wurden die Konstruktionsprinzipien der gebräuchlichsten Geräte und Instrumente, namentlich diejenigen der Flügel, theoretisch und praktisch erörtert. In einem besondern Abschnitt sind Fingerzeige über die Zuverlässigkeit der einzelnen Messmethoden und über erprobte Verbesserungen geboten, daran schliesst sich die Wiedergabe ausgeführter Wassermessungen.

Die Hydraulik, die vorzugsweise eine Erfahrungswissenschaft ist, baut sich auf dem Experiment, dem Prüfstein des planmässigen Vorschreitens auf, auch in der Hydrometrie ist praktischen Versuchen noch weit mehr Wichtigkeit beizulegen, nur dann wird sie mit den Errungenschaften auf verwandten Gebieten Schritt halten und die Wissenschaft die wahren hydraulischen Gesetze erkennen.

Cannstatt, im August 1903.

Der Verfasser.

Inhalt.

Einleitung. Seite
Zusammenstellung der allgemeinen Bezeichnungen 8

I. Bewegung des Wassers
in Flüssen, Kanälen und Rohrleitungen.

Kuttersche Gleichung 11
Bestimmung der Wassergeschwindigkeit durch Oberbaurat Siedek 13

II. Messverfahren
zur Bestimmung der Wassermengen.

1. Methoden zur unmittelbaren Bestimmung der Wassermengen: 17
Kontraktion 17
a. Ausflussöffnungen an Druckschützen 18
Tabelle I 19
Wasserzoll 20
Grubenzoll 20
b. Überfallwehre 21
c. Vollkommene und unvollkommene Überfälle 23
Überfälle mit und ohne Seitenkontraktion 24
Tabelle II 28
Die Bestimmung der Wassermengen bei Überfällen mit und ohne Seitenkontraktion durch M. H. Bazin 28
Tabelle III 29
Versuche über den Abfluss des Wassers bei vollkommenen Überfällen von Prof. Frese 32
Tabelle IV 36
Tabelle IVa 37
Tabelle IVb 38
Ausflussgeschwindigkeit des Wassers aus der Öffnung eines Behälters 39
Tabelle V 40
2. Instrumente und Apparate zur Beobachtung der Wassergeschwindigkeit: 44
a. Schwimmer 44
b. Hydrometrische Röhren 48
c. Hydrometrische Flügel 54
Hydrometrische Flügel mit elektrischer Zeichengebung 60
Tabelle VI 68
Hydrometrischer Flügel mit Schallübertragung 71
Flügel in Becherradform 72
Strömungsmesser 73

Seite
Die Tarierung des Flügels 74
Tabelle VII 75
d. Wassermesser 81
Venturimesser 81
Siemens Wassermesser 90
Scheibenwassermesser 95
Kolbenwassermesser für grössere Mengen 97

III. Einteilung des Messprofils.

Teichmannsche Methode 103
Beispiel 105
Tabelle VIII 108
Integration von Harlacher 111
Vereinfachtes Messverfahren 114
Vergleichung der verschiedenen Wassermessmethoden 115
Gefällsmesser 117

IV. Pegelbeobachtungen.

Messgeräte 122
Selbsttätige Pegel 124

V. Beispiele.

Wasserstandsbeobachtungen und Wassermessungen 128
Wassermessungen in Kanälen 136
Wassermessungen in geschlossenen Leitungen 137
Pitometer 142
Schlusssätze 146

Einleitung.

Nach HERODOT und anderen zuverlässigen geschichtlichen Quellen haben schon die alten Kulturvölker sich bemüht, die fliessenden Binnengewässer ihrer Gebiete zu beherrschen.

Babylonien war das Holland des Altertums. Vom ersten Anfang an waren seine Ansiedler zur Erbauung von Dämmen und Anlegung von Kanälen genötigt, um die Niederlassungen und Pflanzungen vor den alljährlichen Hochfluten des Euphrat und Tigris zu schützen und diese Kanäle oder Stromteiler teilten nicht allein das Hochwasser der beiden Ströme und führten das befruchtende Nass den von der Überschwemmung nicht berührten Landstrichen zu, sie boten sich auch von selbst dar, um zum Ersatz der Landstrassen mittels mannigfacher Fahrzeuge Handel und Wandel zu fördern und den Verkehr von Stadt zu Stadt zu vermitteln. Ein vielmaschiges Netz grosser und kleiner Kanäle breitete sich schon in alter Zeit weithin über das Land und jeder hervorragende König war bestrebt, wie durch Pflege so durch Ausbau dieser Wasserstrassen seinen Namen der Nachwelt ruhmvoll zu erhalten.

Die Egypter bedienten sich zur Registrierung der Wasserstände des Nils besonderer Messapparate (Nilmesser), wovon sich einer in Oberegypten an der Insel Elephantine (jetzt Gisere t-Assuan), ein anderer in Coptus für Mittelegypten und ein dritter in Memphis für Unteregypten befand. Gegenwärtig steht noch ein Nilmesser auf der Südspitze der Nilinsel Rhoda bei Kairo in Form einer achteckigen Säule, worauf altegyptische Masse (16 Ellen) eingetragen sind.

Schon im Altertum hatten sich die Egypter der mühevollen und schwierigen Aufgabe zugewendet, die Nilwasser in grossen Mengen aufzuspeichern, um die Berieselung ihrer Ländereien von der Überschwemmung nach Möglichkeit unabhängig zu machen.

Grössere Versuche dieser Art sind bereits unter den Pharaonen angestellt worden und namentlich über eine Anlage sind wir durch Aufzeichnungen griechischer Schriftsteller ziemlich genau unterrichtet, über die Wasserwerke des sogenannten Moerissees, über die Herodot schon 455 v. Chr. nähere Mitteilungen gegeben hat. Nachdem jene alten Bauwerke und Stauanlagen zerfallen waren, wurde nach mannigfachen im Laufe der Jahrhunderte angestellten Versuchen mit der Anlegung des grossartigen Staudammes von Assuan am ersten Nilkatarakt im Jahre 1899 begonnen. Dieses Ende 1902 fertiggestellte gigantische Kulturwerk besitzt eine Gesamtlänge von 2 km, eine Breite von 13 m an der Krone, eine solche von 25 m am Fusse und eine Höhe von 30 m. Der Damm ist mit 180 Öffnungen durchbrochen, deren jede 2 m breit und je nach der Lage der Flusssohle 3 bis 7 m hoch ist. Der Abschluss erfolgt mittels eiserner Schützen. Durch diese wird der Nil zur Zeit der Hochflut insgesamt 15000 cbm pro Sekunde senden können. Der Nilwasserstand wird durch den Abschlussbau auf 106 m über Meereshöhe und 20 m über den niedrigsten Wasserstand gehoben. Diese grossartige Anlage ist einzig in ihrer Art und darf mit Recht das grösste Wasserwerk der Welt genannt werden.

Die Perser, Inder, Chinesen, Griechen und Römer besassen in altgeschichtlicher Zeit Wasserbauten und Wasserleitungen; wir begegnen somit auch hier einer guten Pflege der Wasserwirtschaft. Bei den Ausgrabungen auf dem römischen Forum hat Ingenieur Boni einen Teil der berühmten Cloaca maxima kürzlich freigelegt, jenes grossartigen, von Tarquinius Priscus erbauten Abzugskanals, durch den das Forum trocken gelegt und zugleich die vom Quirinal, dem Viminal und dem Esquilin kommenden Wasser dem Tiberstrom zugeführt wurden. Etwa 600 v. Chr. errichtet, lag dieses Wunderwerk altrömischer Wasserbaukunst seit undenklichen Zeiten verschüttet, bis nun ein Teil davon so weit aufgedeckt ist, dass er der allgemeinen Besichtigung freiliegt. Von den Wasserbauten der Römer sind es ferner hauptsächlich die Wasserleitungen (Aquadukte) der Hauptstadt, die damals zu den bedeutendsten Bauwerken gehörten. Rom erhielt die erste Wasserleitung (Aqua Appia) bereits 442 v. Chr. durch den Censor Appius Claudius. Unter der Regierung des Kaisers Nerva wurde Frontinus 97 nach unserer Zeitrechnung die Aufsicht über die Wasserleitungen übertragen. Er verfasste eine Schrift: „De aquis urbis Romae“, die Lauccianі

einer ausführlichen Arbeit über die römischen Wasserleitungen „I commentari di Frontino interno le acque et gli acquadotti“ (Rom 1880) zu Grunde legte. Frontinus berichtet auch schon über die Mittel, welche bei Verteilung von Nutzwasser in der Stadt Rom in Anwendung kamen, bemerkt dabei u. a., dass die aus einem Ausgussrohre fliessende Wassermenge nicht nur von der Weite dieses Rohres, sondern auch von der Höhe des zugehörigen Sammelbehälters abhänge; ein bestimmtes Gesetz für die Abhängigkeit von Durchmesser und Druckhöhe gibt Frontinus nicht an, weshalb es zweifellos ist, dass er ein solches Gesetz überhaupt nicht kannte.[1]) Seinen Reichtum an fliessendem und springendem Wasser verdankt das moderne Rom den vier grossen Wasserleitungen, die mit Benutzung antiker Aquadukte gebaut sind.

Die wissenschaftliche Hydraulik entstand zur Zeit des 17. Jahrhunderts in Italien. Leonardo da Vinci kann als der Urheber einer systematischen Hydraulik bezeichnet werden. In seinen Schriften vertritt er überall die Grundsätze der analytisch empirischen Methode. Nach Boileau soll er zur Ermittelung der Geschwindigkeit fliessender Gewässer zuerst die Methode der Doppelschwimmer in Anwendung gebracht haben, wozu er Wachskügelchen benutzte, die mittels Fäden untereinander verbunden waren. Auch Galilei, der grösste Naturforscher Italiens, zugleich einer der Begründer der modernen Naturwissenschaften, hat sich um die Förderung der Hydraulik bemüht[2]), vor allem schlug er (1602) zuerst in strenger Weise den Weg des Versuchs ein, dessen Bedeutung er durch seine glänzenden Entdeckungen in der Lehre von der Bewegung der Körper und vom Licht nachwies; seine beiden Schüler, Castelli und Toricelli, haben die Versuche des Meisters fortgesetzt und ihre Untersuchungen auf eine systematische Grundlage gestellt.

Das erste wissenschaftliche Werk über Hydraulik „Della misura dell'acque correnti“ aus dem Jahre 1628 stammt von Castelli. Er bemühte sich um die Ermittelung des Gesetzes der Geschwindigkeitsänderungen von der Oberfläche zum Boden des in Kanälen und Strömen fliessenden Wassers. Nach ihm sollte die Geschwindigkeit der Wasserfäden den Tiefen proportional sein, so dass das Gesetz der Veränderung, die sogenannte Geschwindigkeits-Skala, ein Dreieck bilden müsse, dessen Spitze im Wasserspiegel

[1]) Dr. Moritz Rühlmann: „Hydromechanik“, 2. Aufl., Hannover 1880.
[2]) Lettera di Galileo Galilei, Gennajo 1630.

und dessen Basis am Boden liege. Toricelli (1644) zeigte durch Versuche, dass hier dasselbe Gesetz wie beim freien Fall der Körper herrsche, er schloss deshalb, dass die Beschleunigung der Bewegung des Wassers auf schiefen Ebenen vom Gefälle abhänge.

Guglielmini (1690), der den Anschauungen Toricellis folgte, nahm an, dass die in einer Lotrechten auftretenden Geschwindigkeiten eine parabolische Skala bilden müssten. Dieser Meister der italienischen hydraulischen Schule behandelte alle diejenigen Fragen, die sich auf die Bewegung des Wassers, auf das Messen und die Natur der Flüsse beziehen; von ihm stammt die erste wirkliche Theorie der Bewegung des Wassers. Der Hydrotekt Lecchi drückt sich in seiner Schrift „Idrostatica“ (1765) auf Grund seiner Versuche folgendermassen aus: „Meine Versuche haben eine grosse Verschiedenheit von zu- und abnehmender Geschwindigkeit und auch über die Stelle der grössten Geschwindigkeit gegeben und zwar nicht bloss in Kanälen von geringer Tiefe, sondern auch im Po an sehr tiefen Stellen.“

Lorgna gelangte durch seine Messungen an kleinen Flüssen und Bächen zu der Ansicht, dass die Geschwindigkeit zuerst bis auf eine gewisse Tiefe unter der Oberfläche zu, von da aber nach dem Boden hin wieder abnehme.[1])

Entscheidendere Versuche über die Geschwindigkeitsabnahme in Betten fliessender Gewässer hat der Italiener Ximenes und der Deutschholländer Brünings angestellt. Ximenes nahm seine Geschwindigkeitsmessungen im Arno mit einem von ihm erfundenen mechanischen Instrument, Ventola Idraulica (Wasserfahne), vor. Brünings, der seine Versuche am Ober- und Niederrhein, Waal und Yssel, in den Jahren 1789—92 ausführte, kam zu dem Ergebnis, dass keine theoretische und durch die Erfahrung bestätigte Regel vorhanden ist, wonach die Geschwindigkeit des strömenden Wassers auf allen Tiefen und also auch die mittlere Geschwindigkeit bestimmt werden könnte. Zu seinen Messungen bediente sich Brünings eines von ihm selbst angegebenen Instrumentes (Tachometer) das im wesentlichen mit der Schnellwage des Michelotti übereinstimmte, jedoch den Vorzug hatte, dass man die Geschwindigkeit in verschiedenen Tiefen derselben Lotrechten, unmittelbar nacheinander messen konnte, ohne das Instrument aus dem Wasser nehmen zu müssen. Eytelwein

[1]) Lorgna, Memori interno all'acqua correnti, Verona 1777.

zog aus sämtlichen Versuchsresultaten des Ximenes und Brünings den Schluss: „Obgleich sich aus allen diesen vortrefflichen Beobachtungen noch kein allgemeines Gesetz zur Bestimmung der Geschwindigkeitsabnahme ableiten lässt, geht doch soviel daraus hervor, dass die Geschwindigkeiten von oben nach unten zu abnehmen und dass für einerlei Vertikallinie bei grösseren Geschwindigkeiten an der Oberfläche die Abnahmen bei einerlei Tiefen grösser sind, als bei kleineren Geschwindigkeiten. Woltmann (1790) hatte sich gleichfalls bemüht, aus Beobachtungen mit dem nach ihm benannten Instrument nachzuweisen, dass die sogenannte Geschwindigkeits-Skala eine Parabel sei, deren. Achse vertikal und deren Scheitel in derjenigen Tiefe unter dem Wasserspiegel liege, wo die Geschwindigkeit ganz aufhöre. Die betreffende Parabel erhielt daher genau die entgegengesetzte Lage der Geschwindigkeitsparabel der alten Schule, d. h. ihre grösste Ordinate sollte nahe am Wasserspiegel, die kleinste aber an dem Boden des betreffenden Kanals oder Flusses liegen.

Gerstner (etwa 1795) gelangte zufolge Messungen mit dem Stromquadranten zu einer Ellipse als Geschwindigkeitskurve, während Funk (1800) eine logarithmische Stromskala nachwies.

In „Des Travaux du Rhin“ (1833) zeigte Defontaine, dass das immer noch gesuchte Gesetz durch die Ordinaten zweier miteinander einen Winkel bildenden geraden Linien dargestellt werden könnte.

Baumgarten (1847) griff in seiner Arbeit „Sur le moulinet de Woltmann“ diese Anschauungen an und war der Ansicht, dass in Wirklichkeit keine dieser Linien dem wahren Naturgesetz entspricht, dass sie vielmehr als Aushilfsmittel in der Weise betrachtet werden können, wie die Ellipsen nur Annäherungen an die Bahnen sind, welche die Planeten bei ihrer Bewegung beschreiben. Boileau gelangte bei seinen Messungen in der Mosel ebenfalls zu Parabeln mit wagerechter Achse, die in der Regel etwas unter dem Wasserspiegel lag. In der zweiten Ausgabe seiner „Etudes théoretiques et practique sur le mouvement des eaux courrantes“ (Paris 1848), findet Dupuit eine Parabel des $\frac{n+1}{n}$ Grades, deren Achse ebenfalls mit dem Wasserspiegel zusammenfällt.

Parabeln mit wagerechter Achse ergaben sich auch bei den grossartigen in den Jahren 1851—58 angestellten Mississippi-Messungen, welche zum Zweck der Regulierung dieses gewaltigen

Stromes zwei Offiziere der nordamerikanischen Kriegsmarine, der Kapitän A. Humphreys und der Leutnant H. C. Abbot, ausführten und die (1861) unter dem Titel „Report upon the physics and hydraulics of the Mississippi" veröffentlicht wurden. Diese Messungen sind Gegenstand scharfer Kritik geworden; man darf überhaupt nicht annehmen, dass die Versuchsresultate kontinuierliche Kurven ergeben haben. Die Experimentatoren mussten vielmehr allerlei Wendungen und Annahmen machen, man hat eben vorausgesetzt, es müssen diese Kurven Parabeln sein. Die für die Praxis sehr beachtenswerten Messungen lieferten folgende Resultate:

1. Die wagerechte (in der Stromrichtung liegende) Parabelachse der Geschwindigkeitskurve liegt 0,3 (genauer in 0,297) der Wassertiefe unter der Oberfläche.
2. Der Parameter dieser Parabel ist direkt proportional der Quadratwurzel aus der mittleren Geschwindigkeit der betreffenden Senkrechten und indirekt proportional dem Quadrate der Wassertiefe.

Grashof äusserte sich in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1867: „Ist auch durch Humphreys und Abbots Werk die rationelle Theorie der Wasserbewegung kaum gefördert worden, so ist solches dennoch als wesentlich epochemachend in der Hydraulik anzuerkennen, teils wegen der darin enthaltenen neuen empirischen Formeln und Tatsachen, teils wegen des dadurch gebotenen ausserordentlich reichen Materials zu einer späteren rationellen Erklärung und Begründung der durch Beobachtung gefundenen Gesetze."

Die Arbeiten von Darcy und Bazin behandeln in „Recherches hydrauliques" (Paris 1865) Beobachtungen, Messungen und Theorien über die Bewegung des Wassers. In diesem Werk wird das betreffende Geschwindigkeitsgesetz als eine gemeine Parabel mit wagerechter Achse nachgewiesen, welch letztere, zugleich die Maximalgeschwindigkeit enthaltend, bei grösseren Tiefen etwas unter dem Wasserspiegel liegen soll. Auf analytischem Wege gelangte Grashof ebenfalls zu Geschwindigkeitsparabeln mit wagerechter Achse. Unseren Bezeichnungen entsprechend findet Grashof

$$u = V - m\,(z - a_0)^2,$$

wobei V das Maximum von u, m den Parameter und a_0 den Abstand der Parabelachse vom Wasserspiegel bezeichnet.

Eine grössere Zahl von Arbeiten, die sich vorzugsweise auf das Thema der Geschwindigkeitsskala fliessenden Wassers beziehen,

sind noch weiter für die rationelle Praxis zu verzeichnen und finden sich in der einschlägigen neueren Literatur. —

Alle theoretischen Entwickelungen beruhen auf der Voraussetzung, dass die materiellen Punkte des Wassers in einfach gesetzmässiger Weise sehr schwach gekrümmte Bahnen durchlaufen, welche bei gleichförmiger permanenter Bewegung in parallele Grade übergehen. Auch die neueren Forschungen sind zu keinen feststehenden Ergebnissen gelangt, denn es ist unausbleiblich, dass örtliche Verhältnisse unberechenbaren Einfluss auf die Wasserbewegung ausüben. Es entstehen Strömungen, die von der Kanalwand nach oben und nach der Mitte hin gerichtet sind, die dann notwendigerweise wieder andere, entgegengesetzt gerichtete Strömungen zur Folge haben. Indem diese Mischungsbewegungen mit der Hauptströmung des Wassers im Kanal inferieren, kann dadurch das Gesetz der Geschwindigkeitsänderung von Punkt zu Punkt eines Querschnittes so wesentlich geändert werden, dass es mit Zuverlässigkeit nur auf empirischem Wege durch vielfache Beobachtungen bestimmbar ist.[1])

Auch nach Feststellung einer geeigneten Formel und nach Aufwendung einer genügenden Zeit zur Geschwindigkeitsmessung ist es schwer, aus den aufgetragenen Geschwindigkeitswerten sofort zu erkennen, ob die Geschwindigkeitskurve einer Parabel angehört, ob deren Achse senkrecht stehen oder wagerecht liegen müsse und ob in letzterem Falle die Achse unter dem Wasserspiegel liegen könne oder nicht.[2])

Nach Vorstehendem dürfte die Annahme einer Geschwindigkeitsparabel mit senkrechter Achslage nicht aufrecht zu erhalten sein, dieselbe ist auch von den neueren Hydrotekten fast ohne Ausnahme verlassen worden.

---

1) Grashof: Theoretische Maschinenlehre, 1875, Band 1.
2) Sasse: Die Vertikal-Parabel bei Stromgeschwindigkeitsmessungen, 1878.

Zusammenstellung der allgemeinen Bezeichnungen.

L = Länge einer bestimmten Flussstrecke in Meter (m),
F = Querschnittsfläche in Quadratmeter (qm),
p = Länge des benetzten Umfangs (Wasserperimeter),
R = mittlerer hydraulischer Radius $= \frac{F}{p}$
J = relatives Gefälle ‰,
n = Rauhigkeitsgrad,
v = mittlere Profilgeschwindigkeit in Sekundenmeter,
Q = $v \cdot F$, durchfliessende Wassermenge in Kubikmeter,
u = mittlere Geschwindigkeit einer Lotrechten,
V = Maximalgeschwindigkeit im Stromstrich,
z = die vom Wasserspiegel an gerechnete Entfernung des Wasserfadens, welcher der sekundlichen Geschwindigkeit u entspricht, dabei z in Bruchteilen der als 1 angenommenen Flusstiefe vorausgesetzt,
t = Tiefe des Flusses an einem gegebenen Punkte,
ζ = Wasserreibungskoeffizient,
B = Breite der Wasseroberfläche an einer gegebenen Stelle,
b = Breite des aus einer Öffnung austretenden Wasserkörpers,
h = Druckhöhe bei einem Überfall, oder Höhe des Wasserspiegels über der Mitte der Austrittsöffnung bei Spannschützen,
$k = \mu$ = Ausflusskoeffizient,
g = Beschleunigung der Schwere = 9,81 m.

I. Bewegung des Wassers
in Flüssen, Kanälen und Rohrleitungen.

Was den Wechsel der Wassergeschwindigkeit in einer Lotrechten betrifft, so wird nach dem Ergebnis einer grossen Anzahl von Beobachtungen die grösste Geschwindigkeit in der Regel etwa 0,1 bis 0,3 m unter dem Wasserspiegel angetroffen; die kleinste Geschwindigkeit v_s (Abb. 1) ist gewöhnlich an der Sohle vorhanden, ihre Grösse wechselt stark und bewegt sich zwischen 25 und 75 % der Oberflächengeschwindigkeit v_0. Die mittlere Geschwindigkeit v_m in einer Lotrechten kann zu etwa 85 % der Oberflächengeschwindigkeit angenommen werden und wird bei etwa 55 bis 65 % der Wassertiefe gefunden.

Denkt man sich in jedem Messpunkte des Flussquerprofils die dort gemessene sekundliche Geschwindigkeit von der Profilfläche *a, b, e* (Abb. 2) aus aufgetragen, so erhält man durch Verbindung der Endpunkte *a, g, h, b* eine unregelmässige krumme Fläche wie

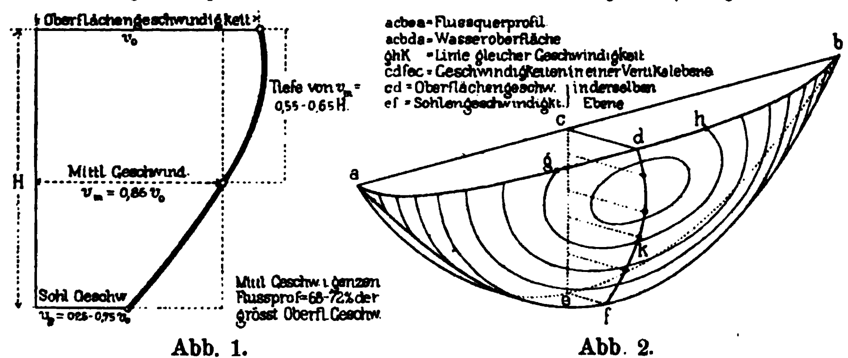


Abb. 1. Abb. 2.

Wechsel der Wassergeschwindigkeit in einer Lotrechten.

Abb. 2 darstellt. Alle Wasserteilchen, welche sich in einem bestimmten Zeitpunkte in der Ebene des Querprofils *a, b, e* befanden, liegen nach Verlauf einer Sekunde in der Fläche *a, d, b, f*. Die in einer Sekunde durch das Querprofil geflossene Wassermenge ist gleich dem Kubikinhalte des Körpers *a, b, d, f, e*, welcher zwischen der Profilebene *a, b, e* und dieser krummen Fläche *a, d, b, f* liegt

und der überdies noch begrenzt ist von der Ebene des Wasserspiegels *a*, *b*, *d* und von der zylindrischen Fläche *a*, *e*, *b*, *f* der Sohle und Ufer.

Der Inhalt dieses Körpers kann einfach graphisch bestimmt werden, indem man von der Wasserspiegellinie des Querprofils aus die Geschwindigkeitsflächen der einzelnen Lotrechten linear aufträgt und die so erhaltenen Endpunkte durch eine Kurve verbindet. Die Fläche zwischen dieser Kurve und der Wasserspiegellinie stellt alsdann die Grösse der gesuchten Wassermenge dar.

Alle Hydrauliker, die sich bis jetzt mit der analytischen Lösung des Geschwindigkeitsgesetzes beschäftigten, mussten von der Annahme ausgehen, dass eine gleichförmige Bewegung des Wassers in Flüssen und Kanälen stattfindet, wogegen doch — abgesehen von sonstigen Einflüssen — die Einwirkung des Bettwiderstandes eine so verschiedenartige sein kann, dass ein mathematischer Ausdruck die mannigfachen Verhältnisse in der Praxis: die mehr oder weniger rauhe Beschaffenheit der Kanalwände und die Verschiedenheit der Gefälle, die geometrische Form des Flussbettes u. s. w., unmöglich berücksichtigen kann. Es ist deshalb bis jetzt noch nicht gelungen, eine einwandfreie allgemein brauchbare Formel zur Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit durch Rechnung aus dem Gefälle und den Dimensionen des Bettes aufzustellen. In der Tat wird es auch immer ein unfruchtbares Unternehmen bleiben, die gleiche Formel für Ströme und seichte Bäche anzuwenden und dieselbe mit unzähligen Korrektionskoeffizienten zu versehen.

Die älteren Gleichungen übergehend, führen wir nur die gegenwärtig allgemein gebräuchliche (zweite) Formel der schweizerischen Ingenieure Ganguillet und Kutter an, die auch seitens staatlicher hydrographischer Kommissionen angenommen ist und das meiste Vertrauen verdient, weil man sie als diejenige bezeichnen darf, welche die Bewegungserscheinung des Wassers am besten wiedergibt.

Diese Kuttersche Gleichung für die mittlere Geschwindigkeit der abfliessenden Wassermenge in Flüssen, Kanälen und Rohrleitungen wurde durch Vergleichung einer grossen Anzahl Versuche, die an natürlichen und künstlichen Wasserläufen grösseren Umfanges mit verschiedenartigem Material der Kanalwände vorgenommen wurden, abgeleitet. Die Formel setzt voraus, dass sich der Be-

harrungszustand eingestellt hat und ergibt die mittlere Profilgeschwindigkeit für Metermass:

$$v = \left\{ \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{J}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{J}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}} \right\} \sqrt{RJ},$$

worin

v = die mittlere Wassergeschwindigkeit,
R = der mittlere hydraulische Radius,
J = der Sinus der Sohlenneigung oder das Gefälle der Längeneinheit,
n = ein Reibungsfaktor, abhängig von der Beschaffenheit und dem Oberflächenzustande des Wasserbettes.

Durch die Veränderung des Koeffizienten n werden sechs verschiedene Rauhigkeitsgrade unterschieden und zwar:

	n	n Mittel	$\frac{1}{n}$
1. Kanäle von sorgfältig behobeltem Holz und von glattem Zement	0,0085 bis 0,0110	0,010	100,00
2. Kanäle von Brettern, festgemachtem Kies	{ 0,011 bis 0,013 / 0,013 bis 0,0215 }	0,012	83,3
3. Kanäle von behauenen Quadersteinen, gut gefügten Backsteinen	0,012 bis 0,0200	0,013	76,1
4. Kanäle von Bruchsteinen	0,014 bis 0,022	0,017	58,82
5. Kanäle in Erde bei gemauerten Seitenwänden; Gewässer in Erde; Kanäle, Bäche, Flüsse	{ 0,018 bis 0,030 / 0,020 bis 0,010 }	0,025	40,0
6. Gewässer mit gröberen Geschieben und mit Wasserpflanzen	0,020 bis 0,060	0,030	33,33

Die Hauptschwierigkeit bei der Berechnung eines bestimmten Wasserlaufes nach dieser Formel beruht darin, die richtige Kategorie zu finden. Für eine genauere Übersicht der Formel und ihrer Ableitung sei noch auf untengenannte Arbeiten verwiesen.[1])

[1]) Ganguillet und Kutter: Versuch zur Aufstellung einer neuen allgemeinen Formel für die gleichförmigen Bewegungen des Wassers in Kanälen und Flüssen, gestützt auf die Resultate der in Frankreich vorgenommenen umfangreichen und sorgfältigen Untersuchungen und die in Nordamerika ausgeführten grossartigen Strommessungen. Bern 1877.

Kutter, W. R., Die neuen Formeln für die Bewegung des Wassers in Kanälen und regelmässigen Flussstrecken:

1. von Humphreys und Abbot, nach der deutschen Bearbeitung von Grebenau, München 1867;

(Fortsetzung Seite 12.)

Für geschlossene Leitungen hat die Formel gleichfalls Giltigkeit, wobei nachstehende Koeffizientenwerte zur Anwendung kommen:

$n = 0{,}007$ bis $0{,}008$	Glas-, Zinn-, Blei- und galvanisierte Eisenrohre.
$n = 0{,}008$ bis $0{,}009$	Neue frisch verlegte nahtlose schmiedeeiserne und gusseiserne Rohre von bester Beschaffenheit und Verlegung.
$n = 0{,}009$ bis $0{,}10$	Frisch angestrichene und glatte Rohre aller Gattungen; glatt behobeltes Holz.
$n = 0{,}10$ bis $0{,}11$	Neue schmiedeeiserne vernietete Rohre von engem Durchmesser, neue hölzerne Deichelrohre.
$n = 0{,}11$ bis $0{,}12$	Wenig gebrauchte, sorgfältige zusammengesetzte, reine gusseiserne Rohre, unbehobeltes Holz.
$n = 0{,}12$ bis $0{,}13$	Irdene und Steingutrohre in gutem Zustand, jedoch nicht neu. Glasierte, mangelhaft verlegte oder vom Gebrauch beschmutzte Rohre. Neue schmiedeeiserne vernietete Rohre mit vielen Stossfugen und Nietköpfen.
$n = 0{,}15$	Verunreinigte Gussrohre mit geringem Wassersteinansatz, weite schmiedeeiserne genietete Rohre, wenige Jahre im Gebrauch, aber in gutem Zustand.
$n = 0{,}17$	Hübelige und unreine Eisenrohre.

Für die rationelle Praxis kommen zur Bestimmung der mittleren Wassergeschwindigkeit durch Rechnung aus dem Gefälle und Querprofil eines Kanals die von Regierungsbaumeister A. Schüngel (1900) zusammengestellten Tafeln zur graphischen Ermittelung der Wassergeschwindigkeit v für trapezförmige Fluss- und Grabenprofile in Betracht. Die Tafeln bezwecken eine möglichst einfache Berechnung der Wassergeschwindigkeit nach den Formeln von Ganguillet und Kutter.

---

2. von K. Bazin, nach dessen „Recherches hydrauliques“, Paris 1865;
3. von C. Gauckler, nach den Auszügen des der Akademie der Wissenschaften zu Paris erstatteten Gutachtens der hiezu ernannten Spezialkommission, Paris 1867;
4. von Ganguillet und Kutter, nebst Besprechung einiger sonstigen neuen Formeln und mit einigen Koeffizienten-Skalen zum praktischen Gebrauche, 2. Aufl. 1877.

Hydraulic Diagrams for the Discharge of Conduits and Canals based upon the Formula of Ganguillet and Kutter. By C. H. Swan and Th. Horton jun. New-York 1899.

Oberbaurat RICHARD SIEDEK in Wien hat sich die Aufgabe gestellt, für die Bestimmung der Geschwindigkeit in natürlichen Gerinnen eine Formel aufzustellen, die von wählbaren Koeffizienten unabhängig ist und bei der sich alle Faktoren aus den Abmessungen des Profiles und aus denen des Gefälles ableiten lassen, so dass der Formelausdruck in dieser Beziehung starr erscheint, d. h. dass derselbe nicht wie bei den bisher gebräuchlichen Rechnungsarten durch die ziemlich freie Annahme der Koeffizienten zur Erlangung eines gewünschten Resultates benutzt werden kann.[1])

Der einfache Ausdruck lautet:

$$v = \frac{T\sqrt{J}}{\sqrt[20]{B}\;\sqrt{0{,}001}}$$

(T = mittlere Wassertiefe, J = relatives Gefälle, B = Wasserspiegelbreite).

Zu diesem Grundstock treten für die verwickelten in Gruppen zusammengefassten Fälle drei oder vier Additionsglieder hinzu, welche die besonderen Verhältnisse zu berücksichtigen bestimmt sind. Diese Faktoren umfassen: Tiefe, Gefälle, Masse, Profil. Zur besseren Uebersicht sind von Oberbaurat Siedek Tabellen zusammengestellt, welche die Werte der Koeffizienten für die meisten Fälle der Praxis enthalten.

Bei seinen Studien wie überhaupt auch bei Aufstellung dieser Gleichung liess sich Siedek in erster Linie von den Ergebnissen der Empirik leiten, praktische Erwägungen haben deshalb zu folgenden Schlüssen geführt. Bei Profilen, bei denen die Wasserspiegelbreite geringer ist als die 15fache Tiefe, hat die aufgestellte Geschwindigkeitsformel gegenüber den Ergebnissen der Messungen zu hohe Werte ergeben. Dies konnte nur darauf zurückgeführt werden, dass sich das Wasser in solchen Profilen unter einem gewissen Zwang bewegt, den die Profilform herbeiführt. Solche Fälle ergeben oft ganz wesentliche Änderungen für die zu berechnenden Werte. Den hierauf bezüglich in die Formel einzuführenden Faktor nennt Siedek den „Profilfaktor", der additionell anzufügen ist.

Bei Gefällsaufnahmen darf die Wirkung des Massenmomentes nicht unbeachtet bleiben, da die Trägheit der Masse

[1]) RICHARD SIEDEK: Studie über eine neue Formel zur Ermittelung der Geschwindigkeit des Wassers in Bächen und künstlichen Gerinnen. Sonderabdrücke a. d. Zeitschr. d. Österr. Ing.- u. Arch.-Vereins 1901 und 1903.

eine Änderung der Geschwindigkeit an Gefällsbrüchen nicht sofort zulässt. Dieser Anschauung folgend, legt Siedek dem Gefälle oberhalb der Messstelle ein höheres Gewicht bei, als demjenigen unterhalb derselben, er empfiehlt deshalb aus zwei Flussbreiten oberhalb und einer Flussbreite unterhalb die Differenz des Niveaus der Gefällkurve zu berechnen.

Bei Aufstellung des Widerstandskoeffizienten wird die Frage erörtert, wie weit, d. h. auf welchen Abstand, vom benetzten Umfange bezw. von der Wandung der Einfluss der Rauhigkeit überhaupt reicht. Theoretisch genommen, wirkt dieser Einfluss immer über das ganze Profil; praktisch genommen wird er sich aber nur auf eine gewisse Fläche beschränken, die sich gleich wie ein Band längs des benetzten Umfangs hinzieht. Die Breite dieses Bandes, sonach die zu berücksichtigende Weite des Einflusses der Rauhigkeit auf die Bewegung der einzelnen Wasserfäden hängt einerseits vom Grade der Rauhigkeit selbst, andererseits aber von der Geschwindigkeit bezw. von der Grösse des Bewegungsmomentes des Gewässers ab und ist dem Rauhigkeitsgrade direkt, dem Bewegungsmomente umgekehrt proportional. Damit wird das Profil in eine Influenz- und eine Kernfläche geteilt und um den weiteren Vorgang möglichst zu vereinfachen, mit genügender Genauigkeit das Mass von 0,5 m für die Breite angenommen, eine Ziffer, die mit jener Höhe nahezu übereinstimmt, von welcher ab aufwärts die Geschwindigkeitskurve in einer Lotrechten eines normalen Profiles keiner wesentlichen Krümmung mehr unterworfen ist, sondern sich ganz entsprechend den Tiefen und Gefällsverhältnissen ändert, während sie unterhalb dieses Masses je nach der vorhandenen Sohlengeschwindigkeit, eine mehr oder weniger starke Krümmung aufweist. Die Sohlengeschwindigkeit ist aber in normalen Fällen das Charakteristikon für die Rauhigkeit und somit ist der von ihr abhängige Kurvenast der Lotrechten auch von der Rauhigkeit des benetzten Umfanges beeinflusst.

Da die Schwierigkeit der Gefällsermittelung bei kleinen Gerinnen mehr hervortritt, weist Siedek mit Nachdruck auf den Einfluss hin, den mangelhafte Erhebungen in dieser Hinsicht bewirken. Auf Grund eines umfangreichen Materials hat sich ferner noch ergeben, dass Profile mit sehr steilen Ufern einen wesentlich anderen Einfluss auf die Abflussverhältnisse ausüben, als solche mit flachen, natürlichen, ein Umstand, der mitgewirkt hat, dass bei der Aufstellung der Formel für natürliche Gerinne zu derselben

für den Fall, als die Wasserspiegelbreite nicht die 15fache mittlere Tiefe erreicht, noch der Gefällsfaktor

$$\frac{T_n - T}{\sqrt{B}}$$

additionell hinzugefügt werden muss. Von Interesse war es noch, die neu aufgestellte Formel für künstliche Gerinne mit Gleichungen anderer Autoren zu vergleichen, Siedek zieht deshalb die neueste Formel von Bazin

$$v = \frac{87\sqrt{RJ}}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{B}}}$$

hinsichtlich des Zusammentreffens mit den tatsächlichen Erhebungen heran. Hierbei zeigt sich, dass für ganz kleine Gerinne die neue Formel im allgemeinen als ebenso zutreffend bezeichnet wird, wie jene von Bazin. Erreicht aber die Wasserspiegelbreite grössere Werte oder tritt bei der neuen Formel die Teilung des Profiles ein, so ist das Ergebnis mit der tatsächlichen Messung weitaus zutreffender und zwar um so mehr, je grösser das Profil, insbesondere die mittlere Tiefe wird, wofür der Grund eben im Aufbau des Ausdruckes zu suchen ist, der aus grossen Verhältnissen abgeleitet und dann erst den kleineren angepasst wurde, während es im allgemeinen bei den älteren Formeln umgekehrt üblich war.

„Die Anwendung einer Formel", so schliesst Siedek seine Darlegungen, „bleibt aber immer ein Notbehelf, denn die beste Formel kann bei der vielfachen Gestaltung der Bewegung des Wassers in Gerinnen niemals einer genauen Messung dem Werte nach gleichgesetzt werden und deshalb müssen wir immer trachten, wo es nur möglich ist, Messungen durchzuführen und dann erst zu dem Hilfsmittel der Berechnung der mittleren Geschwindigkeit nach einer Formel greifen, wenn uns der andere Weg zum Ziele verwehrt ist."

„Sind wir aber gezwungen mit Formeln zu arbeiten, dann mögen dieselben nie schablonenhaft angewendet, sondern die Bedingungen und Verhältnisse, welche zu berücksichtigen sind, genau geprüft werden, ehe an die Lösung der Aufgabe geschritten wird."

II. Messverfahren zur Bestimmung der Wassermengen.

Zur Ermittelung des in einer Zeiteinheit in einem Flusslauf abströmenden Wassers bietet die Hydrometrie zwei ihrem Wesen nach verschiedene Messverfahren:

1. Methoden zur unmittelbaren Bestimmung der Wassermenge:
   a) Ausflussöffnungen an Druckschützen,
   b) Überfallwehre,
   c) Überfälle in dünner Wand,
   d) Aichung in Gefässen.
2. Instrumente und Apparate zur Beobachtung der Wassergeschwindigkeit:
   a) Schwimmer,
   b) hydrometrische Röhren,
   c) hydrometrische Flügel,
   d) Wassermesser.

Ziehen wir zunächst die unter 1. angeführten Methoden in Betracht, so ist zu berücksichtigen, dass der Ausfluss aus Öffnungen von bestimmter Dicke bei Druckschützen (mit ausserhalb angesetztem Gerinne, oder mit geneigt stehenden Schützenöffnungen, oder mittels Mündungen unter Wasser, wie bei Wasserradgerinnen, oder durch Ansatzröhren) von der Art und Ausführung dieser Einbauten derart abhängig ist, dass die genaue Bestimmung der Wassermenge unter solchen Umständen ein nur wenig zuverlässige Resultate versprechendes Beginnen darstellt.

Versuchsüberfälle, deren senkrechte Bretterwand gehörig abgedichtet, quer durch den Bach oder Kanal errichtet und oben entweder längs der ganzen Breite mit stromwärts abgeschrägter Kante horizontal begrenzt oder mit einem rechteckigen Einschnitt, dessen Ränder gleichfalls stromabwärts abgeschrägt sind, versehen wird, finden nur bei kleinen Wasserläufen Anwendung. Um die über einen derartigen Überfall fliessenden Wassermengen zu bestimmen, benutzt man Erfahrungswerte, welche das Verhältnis des durch Kontraktion zusammengezogenen Strahles zur theoretischen Weite des Ausflussquerschnittes ausdrücken, deren Ermittelung das Resultat experimenteller Versuche ist.

Überfallwehre erfordern, wenn nicht bereits bestehende Wehre benutzt werden können, einen umständlichen Einbau.

Unmittelbare Aichung lässt sich in kubizierten Behältern oder, bei kleineren Mengen, durch Abwiegen vornehmen. —

1. Methoden zur unmittelbaren Bestimmung der Wassermengen.

Ehe wir zu den unter 1., a), b) und c) angeführten Messverfahren übergehen, mögen einige Bemerkungen über die

Kontraktion

angebracht sein.

Nach Weisbachs Vorgang bezeichnet die experimentelle Hydraulik jede Kontraktion (Zusammenziehung des Wasserstrahls) bei stillstehendem Oberwasser als vollkommen, dagegen bei bewegtem Oberwasser als unvollkommen. Die Ausflussmenge aus Öffnungen ist bei letzterer Form der Kontraktion stets grösser als bei ersterer und zwar in dem Masse, als der Flächenraum der Mündung a grösser ist, denn der Querschnitt A des ankommenden Wassers, oder der Inhalt der Wand, in welcher sich die Ausflussmündung befindet.

Nicht zu verwechseln sind die Bezeichnungen vollkommene und unvollkommene Kontraktion mit den Begriffen partielle und vollständige Kontraktion. Letztere beziehen sich auf die Erscheinungen, dass der Strahl nur auf einen Teil seines Umfanges, oder überall zusammengezogen wird.

Der Kontraktionskoeffizient k stellt das Verhältnis des Strahlquerschnittes an der Stelle der grössten Zusammenziehung zu dem Mündungsquerschnitte dar. Das Verhältnis der wirklichen Ausflussmenge zur theoretischen wird durch den Ausflusskoeffizienten bezeichnet; da die Verminderung der ausfliessenden Wassermenge nicht allein durch die Kontraktion verursacht wird, sondern durch die Reibung des Wassers an den Kanten der Mündung ein Geschwindigkeitsverlust eintritt, müsste auch der Geschwindigkeits-Koeffizient berücksichtigt werden.

Da die Praxis jedoch immer mit dem Ausflusskoeffizienten rechnet und bei experimentellen Versuchen der Geschwindigkeits-Koeffizient bereits schon in dem Erfahrungswert mit enthalten ist, so sei im Verlauf dieser Darstellung unter dem Kontraktions-Koeffizienten immer der eigentliche Ausflusskoeffizient verstanden.

a) Ausflussöffnungen an Druckschützen.

Die Bestimmung der Wassermenge durch Ausflussöffnungen an Druckschützen (Abb. 3) ist oft sehr bequem, da hierzu kein besonderer Einbau nötig ist und die Versuche an der bei jedem Wasserwerk vorhandenen Schütze angestellt werden können. Die Ausführung der Messung ist einfach, es genügt, die Schütze zu ziehen und sie in der gewünschten Höhe derart zu regeln, dass aus dieser Öffnung genau das zu messende Wasserquantum entweicht. Es ist notwendig, das Wasser eine bestimmte Zeit lang abfliessen zu lassen, um sicher zu sein, dass weder ein Fallen, noch ein Steigen des Oberwasserspiegels stattfindet.

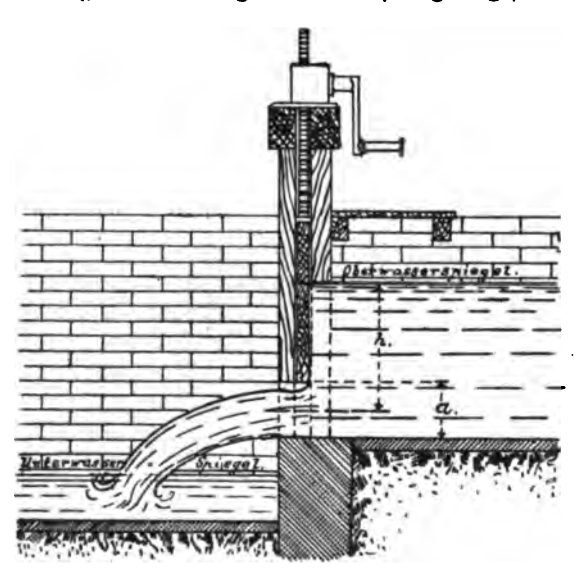


Abb. 3. *Druckschütze.*

Die Formel, welche zur Berechnung der Wassermenge aus Öffnungen in dünner Wand unter Druck angewendet wird, lautet:

$$Q = k\,b\,a\sqrt{2\,g\,h}.$$

In derselben bedeutet:

Q die Wassermenge in cbm in der Sekunde,
b die Breite der Ausflussöffnung (m),
a die Höhe derselben (m),
$2g$ eine konstante Grösse, zu 19,62 bestimmt (Endgeschwindigkeit beim freien Fall),
h die Druckhöhe über dem Mittelpunkt der Öffnung,
k einen Ausflusskoeffizienten, veränderlich zwischen 0,60 bis 0,65, je nach Druck, Form und Stellung der Ausflussöffnung.

Nebenstehende Tabelle I ist auf Grund der oben angegebenen Formel aufgestellt und ergibt die Wassermengen in Liter i. d. Sekunde für einen Ausschnitt der Schützenöffnung von 1 qdcm unter Druckhöhen von 0,05 bis 5 m, bei einem Ausflusskoeffizienten $k = 0,636$.

Tabelle I.

Abflussmenge an Spannschützen für 1 qdcm Austrittsfläche bei 0,05 bis 5,0 m Druckhöhe und Ausflusskoeffizient *k* = 0,636

h	*Q*	*h*	*Q*	*h*	*Q*	*h*	*Q*	*h*	*Q*	*h*	*Q*
0,05	6,3	0,44	18,7	0,83	25,7	1,22	31,1	1,61	35,8	1,99	39,8
0,06	6,9	0,45	18,9	0,84	25,8	1,23	31,3	1,62	35,9	2,00	39,9
0,07	7,5	0,46	19,1	0,85	26,0	1,24	31,4	1,63	36,0	2,05	40,4
0,08	8,0	0,47	19,3	0,86	26,1	1,25	31,5	1,64	36,1	2,10	40,9
0,09	8,5	0,48	19,5	0,87	26,3	1,26	31,6	1,65	36,2	2,15	41,3
0,10	8,9	0,49	19,7	0,88	26,4	1,27	31,8	1,66	36,3	2,20	41,8
0,11	9,3	0,50	19,9	0,89	26,6	1,28	31,9	1,67	36,4	2,25	42,3
0,12	10,0	0,51	20,1	0,90	26,7	1,29	32,0	1,68	36,5	2,30	42,7
0,13	10,2	0,52	20,3	0,91	26,9	1,30	32,1	1,69	36,6	2,35	43,2
0,14	10,5	0,53	20,5	0,92	27,0	1,31	32,3	1,70	36,7	2,40	43,7
0,15	11,0	0,54	20,7	0,93	27,2	1,32	32,4	1,71	36,8	2,45	44,1
0,16	11,3	0,55	20,9	0,94	27,3	1,33	32,5	1,72	37,0	2,50	44,6
0,17	11,6	0,56	21,1	0,95	27,5	1,34	32,6	1,73	37,1	2,55	45,0
0,18	12,0	0,57	21,3	0,96	27,6	1,35	32,8	1,74	37,2	2,60	45,5
0,19	12,3	0,58	21,5	0,97	27,8	1,36	32,9	1,75	37,3	2,65	45,9
0,20	12,6	0,59	21,6	0,98	27,9	1,37	33,0	1,76	37,4	2,70	46,3
0,21	12,9	0,60	21,8	0,99	28,0	1,38	33,1	1,77	37,5	2,75	46,7
0,22	13,2	0,61	22,1	1,00	28,2	1,39	33,2	1,78	37,6	2,80	47,2
0,23	13,5	0,62	22,2	1,01	28,3	1,40	33,4	1,79	37,7	2,85	47,6
0,24	13,8	0,63	22,4	1,02	28,5	1,41	33,5	1,80	37,8	2,90	48,0
0,25	14,1	0,64	22,5	1,03	28,6	1,42	33,6	1,81	37,9	2,95	48,4
0,26	14,3	0,65	22,7	1,04	28,7	1,43	33,7	1,82	38,0	3,00	48,8
0,27	14,6	0,66	22,9	1,05	28,9	1,44	33,8	1,83	38,1	3,10	49,6
0,28	14,9	0,67	23,1	1,06	29,0	1,45	33,9	1,84	38,2	3,20	50,4
0,29	15,2	0,68	23,2	1,07	29,2	1,46	34,1	1,85	38,3	3,30	51,2
0,30	15,4	0,69	23,4	1,08	29,3	1,47	34,2	1,86	38,4	3,40	52,0
0,31	15,7	0,70	23,6	1,09	29,4	1,48	34,3	1,87	38,5	3,50	52,7
0,32	15 9	0,71	23,7	1,10	29,6	1,49	34,4	1,88	38,6	3,60	53,5
0,33	16,2	0,72	23,9	1,11	29,7	1,50	34,5	1,89	38,7	3,70	54,2
0,34	16,4	0,73	24,1	1,12	29,8	1,51	34,6	1,90	38,8	3,80	54,9
0,35	16,7	0,74	24,2	1,13	30,0	1,52	34,7	1,91	39,0	3,90	55,7
0,36	16,9	0,75	24,4	1,14	30,1	1,53	34,9	1,92	39,1	4,00	56,4
0,37	17,1	0,76	24,6	1,15	30,2	1,54	35,0	1,93	39,2	4,10	57,1
0,38	17,4	0,77	24,7	1,16	30,4	1,55	35,1	1,94	39,3	4,20	57,8
0,39	17,6	0,78	24,9	1,17	30,5	1,56	35,2	1,95	39,4	4,25	58,1
0,40	17,8	0,79	25,1	1,18	30,6	1,57	35,3	1,96	39,5	4,30	58,9
0,41	18,0	0,80	25,2	1,19	30,7	1,58	35,4	1,97	39,6	4,50	59,9
0,42	18,3	0,81	25,4	1,20	30,9	1,59	35,5	1,98	39,7	5,00	63,0
0,43	18,5	0,82	25,5	1,21	31,0	1,60	35,7				

Für Bäche und Gerinne wird auch der sog. „Wasserzoll“, d. h. ein Strahl, der durch eine Kreisöffnung von 1 preuss. Zoll (= 26,15 mm) Durchmesser unter möglichst kleinem Drucke abfliesst, verwendet. In der Abflusswand sind mehrere solcher Öffnungen eingeschnitten, von denen durch Stöpsel soviele unter Verschluss gehalten werden, dass der Wasserspiegel gerade die obere Kante der nicht verschlossenen Öffnungen berührt. Nach HAGEN ist 1 preuss. Wasserzoll = 11,16 Liter min., oder 16,078 cbm pro Tag. Eine eigentümliche Art der Wassermengenmessung erfolgt in Kalifornien mittels des sog. „Grubenzolls“.

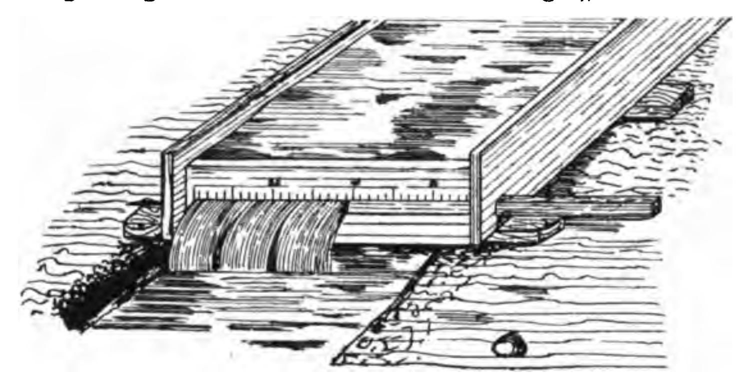


Abb. 4. *Wassermengemessung mittels Grubenzoll.*

Diese Messmethode erfordert keinen besonderen Zeitaufwand und wird von zahlreichen Grubengenossenschaften angewendet, um nach derselben das Wasser an die einzelnen Abnehmer zu verteilen. Die Bezeichnung ist mehr oder weniger unbestimmt. Nicht alle Wasserversorgungsgesellschaften wenden die nämliche Druckhöhe über dem Mittelpunkt der Öffnung an, weshalb der „Zoll“ zwischen 1,36 bis 1,73 Kubikfuss in der Minute (= 38,5 bis 48,97 Liter) schwankt. Die am häufigsten vorkommende Anordnung besteht, wie aus Abb. 4 ersichtlich, aus einer Öffnung von 2 Zoll (= 50,8 mm) Höhe bei entsprechender Länge und einer Streifleiste von 1 $^1/_4$ Zoll (31,75 mm) Dicke. Der untere Rand der Öffnung soll 2 Zoll (= 50,8 mm) über der Sohle des Messbehälters liegen. Die Abschlusswand misst 5 Zoll (= 127 mm) über der Öffnung, was eine Druckhöhe von 6 Zoll (= 152,4 mm) über dem Mittelpunkt des Ausschnittes bewirkt. Jeder Quadratzoll (= 645,16 qmm) dieser Öffnung stellt einen „Grubenzoll“ dar, der einem Abfluss von 1 $^1/_2$ Kubikfuss (= 42,47 Liter) in der Minute entspricht.

b) Überfallwehre.

Versuche mit Überfallwehren mit geneigter oder wagerechter Schwelle haben u. a. Fteley und Stearns (1877/79) am Sudburyflusse bei Boston, James B. Francis an unvollkommenen Überfällen[1] (1883), v. Engerth über die Abflussverhältnisse am Schwimmtor im Wiener Donaukanal (1876—83) ausgeführt, um aus zahlreichen Messungen zuverlässige Koeffizienten für wehrähnliche Überfälle zu ermitteln.

Diese Bemühungen sind aber alle von dem Umstande beeinflusst, dass bei den verschiedenen Grössenabmessungen der Versuchsüberfälle die hierbei vorhandenen Wasserstandshöhen und die Zuflussgeschwindigkeit schwanken, so dass infolge der einwirkenden Verhältnisse ein konstanter Überfallkoeffizient überhaupt nicht festgestellt werden konnte.

Ingenieur Cesare Cipolletti hat am Kanal Villoresi Beobachtungen an einem grossen Schleusenwehr, ferner an einem Stau- und Überfallwehr im Ticinoflusse (Abb. 5) angestellt und in einer Abhandlung (Mailand 1888) veröffentlicht. Die Versuche sind im Auftrage der italienischen Regierung vorgenommen worden, um die richtigen Ausflusskoeffizienten zur genauen Berechnung der über die beiden Wehre abfliessenden Wassermengen zu ermitteln und hiernach die Wasserverteilung zwischen den Bezugsberechtigten zu regeln.

Leider lassen sich alle diese grossartigen kostspieligen Versuche weder für die Praxis noch für die Wissenschaft in vollem Umfange verwerten.

Gustav Ritter v. Wex entwickelte in einer Abhandlung (Leipzig 1888) neue Formeln zur Berechnung der Wasserabflussmengen bei Überfallwehren, Grundschleusen u. s. w. und benutzte zur Feststellung der Erfahrungskoeffizienten eine Auswahl möglichst zuverlässiger Versuche verschiedener Experimentatoren; es ist ihm stets gelungen, solche Formeln zu finden, welche mit den Einzelwerten gute Übereinstimmung liefern. Die Unterschiede betragen selten mehr als 1 % und in der Regel viel weniger. Es dürfte somit die Richtung, in welcher die Wexschen Formeln die älteren

---

[1]) In „Lowell Hydraulic Experiments", (4. Auflage, New-York 1883) berichtet J. B. Francis über Beobachtungen und Messungen, die sich auf Überfälle in dünner Wand und Kontraktion auf 3 Seiten, dann auf Überfälle über die ganze Wand und endlich auf einen wehrähnlichen Überfall beziehen. Für letztere Überfälle fand Francis die sekundliche in engl. Kubikfussen ausgedrückte Wassermenge $Q = 3{,}012\,08\, b\, H^{1{,}53}$.

Gleichungen beeinflussen, zutreffend sein und ist keineswegs ausgeschlossen, dass sie innerhalb gewisser Grenzen Werte liefern, welche, um die Übereinstimmung mit der Wirklichkeit herzustellen, eines weniger veränderlichen Koeffizienten bedürfen, als die älteren Formeln.

Die von den meisten älteren Hydraulikern in schmalen Gerinnen eingesetzten kleinen Überfälle, die zur Berechnung der ermittelten Ausflusskoeffizienten dienten, sind zur Bestimmung der über die in Flüssen eingebauten Stauwehre sekundlich abfliessenden Wassermengen deshalb nicht anwendbar, weil die Dimensionen der ersteren, im Vergleich mit jenen der letzteren, verschwindend klein sind.

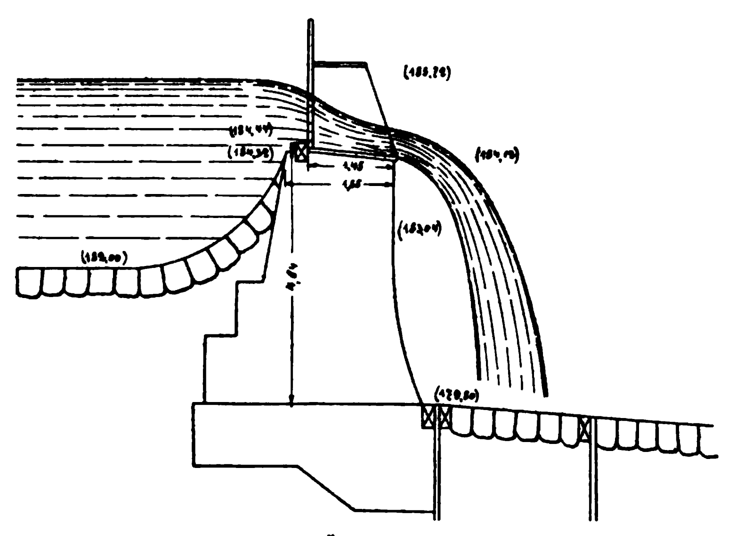


Abb. 5. *Stau- und Überfallwehr im Ticinoflusse.*

Es gibt Einflüsse, welche entweder auf die Steigerung oder auf die Verminderung der ausströmenden Wassermengen wirken. Die positiv wirkenden Ursachen können die negativ wirkenden überwiegen, somit kann die Wirkung der ersteren zusammengefasst eine variable Ausflussmenge von Null bis zu 20 % herbeiführen.

Vom Standpunkte des Fach-Ingenieurs wäre es sehr erwünscht, dass künftig bei Versuchen die konstruktiven Verhältnisse der Wehre und Schleusen, die im allgemeinen Verwendung finden, genau berücksichtigt werden.

c) Vollkommene und unvollkommene Überfälle.

Das über eine rechtwinkelige oder trapezförmige Öffnung in der Seitenwand eines Behälters abfliessende Wasser wird Überfall genannt. Die Überfälle scheiden sich in zwei Gruppen:

a) vollkommene Überfälle,

b) unvollkommene Überfälle,

Bei den vollkommenen Überfällen (Abb. 6) liegt die Wehrkrone, d. h. die wagerechte Schwelle oder Kante, stets über dem Unterwasser, bei unvollkommenen Überfällen jedoch unter dem Unterwasserspiegel. Zur genauen Wassermengemessung eignen sich nur vollkommene Überfälle, deren senkrechte und wagerechte Austrittskanten zugeschärft werden und zwar so, dass das Wasser zuerst die rechtwinkelige Kante trifft. Der Unterwasserspiegel muss um ebensoviel unter der Überfallkante liegen, als die überfallende Wasserhöhe (Druckhöhe h) beträgt. Unter Druckhöhe wird der senkrechte Abstand $\overline{KL}$ des ungesenkten Oberwasserspiegels von der Überfallkante B verstanden. Beim Abfluss über die Kante senkt sich die Wasseroberfläche gegen die Austrittsöffnung hin, infolgedessen wird die Höhe der Wasserschicht über der Wehrkrone $\overline{BE}$ geringer und die Geschwindigkeit grösser, ausserdem drängen die seitlich und von unten herauf fliessenden Wasserfäden den Strahl zusammen uud heben ihn von der Kante ab. Die Druckhöhe $\overline{KL} = h$ ist deshalb in genügender Entfernung $\overline{AK} = 3$ bis 5 m vom Überfall zu messen.

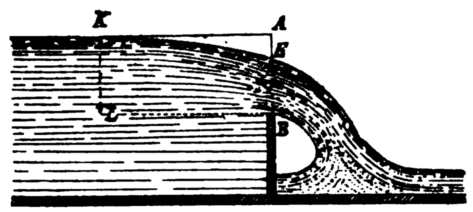
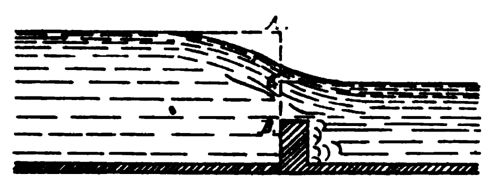


Abb. 6. *Vollkommener Überfall.*


Abb. 7. *Unvollkommener Überfall.*

Zwischen Schwelle und Strahl muss sich ein mit Luft gefüllter Raum befinden, den die Lichtstrahlen von der ihm zunächst liegenden Wasserschicht reflektieren lassen.

Liegt die Krone des Wehres tiefer als der Wasserspiegel im Ablaufkanal, so wird, wie bereits hervorgehoben, ein Überfall unvollkommen genannt (Abb. 7).

Unter sonst gleichen Umständen zeigt sich, dass bei einem unvollkommenen Überfalle wesentlich mehr Wasser abfliesst, als bei einem vollkommenen; ausserdem sind noch andere Ursachen vorhanden, welche die abströmende Wassermenge bei einem derartigen Überfalle beeinflussen, weshalb bei Berechnung der Durchflussmengen zu Formelgruppen gegriffen werden muss, die umständlich anzuwenden sind und keine allgemeine Giltigkeit besitzen.

Der Abfluss soll immer frei, ohne Anhaften des Wassers an der Überfallkante erfolgen, die Erfahrung hat ferner gezeigt, dass der Einfluss beschränkter Abmessungen des Zulaufkanals auf den Koeffizienten in Wirklichkeit grösser ist als einzelne Formeln angeben; ausserdem wird auch die Art und Weise von Einfluss sein, wie sich der Wasserstrom über den Überfall selbst ergiesst.

Überfälle
mit und ohne Seitenkontraktion.

Als zuverlässiges Hilfsmittel, um die in der Sekunde abströmende Wassermenge zu bestimmen, sei es zum Zweck der Berechnung des Wirkungsgrades hydraulischer Motoren oder Messung und Verteilung von Kraftwasser, bei Anlage von Talsperren im Gebirge, Stromregulierungen etc. empfiehlt sich vornehmlich der Einbau eines Überfalles.

Zur Herstellung von Überfällen ist das Vorhandensein eines regelmässig ausgeführten Gerinnes von rechteckigem Querschnitt mit parallelen Seitenwänden erforderlich. In dasselbe baut man eine zur Gerinnachse senkrecht stehende Bohlenwand mit oben abgeschrägter wagerecht gerichteter Kante (Abb. 8) wasserdicht ein.

Es scheint nicht allgemein erkannt zu sein, dass man nicht Wehre und Gerinne in beliebigen Formen und Verhältnissen bauen und dann ihre Durchflussmengen nach einer beliebigen Formel berechnen darf. Nur eine auf Versuche mit einem Wehre und Gerinne von ähnlicher Bauart und ähnlichen Verhältnissen, wobei das Wasser in einem Behältr gemessen wurde, begründete Formel dürfte angewendet werden. Die Überfallhöhen h müssen aufs genaueste durch geeignete Instrumente (Francis, Bazin und Frese haben einen sogenannten Hackenmesser benutzt) ausgemessen werden, wenn man zuverlässige Ergebnisse erhalten will.

Auch wird man gut tun, solche Verhältnisse zu wählen, für welche keine oder doch nur eine unwesentliche Beeinflussung der Koeffizienten durch die Nähe der Ufer vorhanden ist. —

Neben den älteren Versuchen von J. B. Francis verdienen die neueren Messungen von W. Hansen-Gotha auf der hydraulischen Prüfungsstation seiner Turbinenbaufirma Briegleb, Hansen & Co.-Gotha und die jüngsten Versuche von Bazin und Prof. Frese besondere Beachtung.

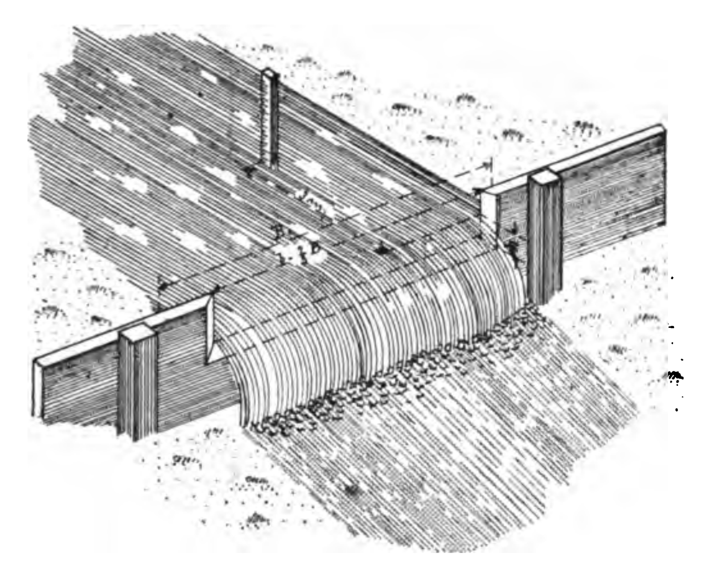


Abb. 8. *Allgemeine Anordnung eines Überfalles mit Seitenkontraktion.*

Die von Hansen durch Überfälle ohne Seitenkontraktion festgestellten Koeffizienten[1]) weichen von den bekannten mehr oder weniger ab, so dass deren Benutzung, je nach den jeweiligen Überfallhöhen, teils zu geringeren, teils zu grösseren Wassermengen als bei Benutzung der durch andere Experimentatoren ermittelten Ausflusskoeffizienten führt.

Leider reichen diese Versuche nur bis zu Überfallhöhen bis 300 mm, es bliebe demnach noch übrig, ebenso umfassende Versuche für grössere Wehrhöhen anzustellen. —

[1]) W. Hansen: Über die Bestimmung von Wassermengen mittels Überfälle ohne Seitenkontraktion (Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 1892).

Was die Wassermengebestimmung mittels Überfälle ohne Seitenkontraktion (Abb. 9) betrifft, so haftet dieser Methode einige Unsicherheit an, welche ihren Grund hauptsächlich in dem verschiedenen Verhältnis der Querschnitte des Zulaufkanals zum Überfall hat. Die Zulaufgeschwindigkeit vor der Öffnung darf bei der Berechnung nicht vernachlässigt werden.

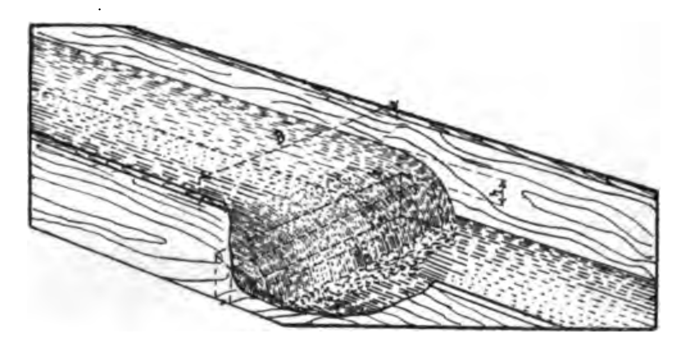


Abb. 9. *Allgemeine Anordnung eines Überfalles ohne Seitenkontraktion.*

Bezeichnet man dieses Verhältnis mit m, die Geschwindigkeit in der Öffnung mit v, so ist die Zuflussgeschwindigkeit vor der Öffnung $\frac{v}{m}$ und die derselben entsprechende Druckhöhe h_1 zur beobachteten Druckhöhe h zu addieren.

$$h_1 = \frac{1}{2g}\left(\frac{v}{m}\right)^2$$

Die Geschwindigkeit in der Öffnung ergibt sich dann aus der Gleichung

$$v = \sqrt{2g\left\{\frac{1}{2g}\left(\frac{v}{m}\right)^2 + h\right\}}, \quad v^2 = \left(\frac{v}{m}\right)^2 + 2gh,$$

$$v^2 = \frac{2gh}{1-\left(\frac{1}{m}\right)^2}, \qquad v = \sqrt{2gh}\sqrt{\frac{m^2}{m^2-1}}$$

und die Wassermenge

$$Q = k\,b\,h\sqrt{2gh}\sqrt{\frac{m^2}{m^2-1}}$$

Beträgt das Verhältnis $m = 1:10$, so übt die Antrittsgeschwindigkeit einen Einfluss von 0,5 % auf die abfliessende Wassermenge aus, bei $m = 1:15$ reduziert sich derselbe auf $= {}^1/_5$ %.

Die Überfallkante muss wenigstens 0,5 m über dem Gerinneboden und der Unterwasserspiegel ungefähr ebensoviel (mindestens aber 0,15 m) unter dieser Kante liegen, als die Druckhöhe *h* beträgt. Sind diese Abmessungen geringer, so löst sich der Strahl nicht vom Überfallbrett ab (Abb. 10 b u. c).

Die zwischen der Wehrwand und den Seitenwänden unterhalb des Überfallstrahles eingeschlossene Luft steht unter einer Pressung, niedriger als der äussere Atmosphärendruck, so dass der Wasserspiegel zwischen Strahl und Wehr höher steht, als ausserhalb des Strahles im Ablaufkanal, während gleichzeitig der äussere Überdruck den Strahl gegen das Wehr hinpresst, sobald mit Überfällen ohne Luftzutritt unter dem Strahl experimentiert wird. Der Strahl kann allerdings von der Überfallwand durch Luftzuführung zeitweise entfernt werden; doch bleibt letztere immer noch in Berührung mit stagnierendem und teilweise wirbelndem Wasser, welches wohl auch durch den äusseren Überdruck hinter dem Strahl als gehoben betrachtet werden muss, eine Nachsaugung bewirken, somit eine Steigerung der überfliessenden Wassermenge herbeiführen und einen Beharrungszustand vereiteln kann.

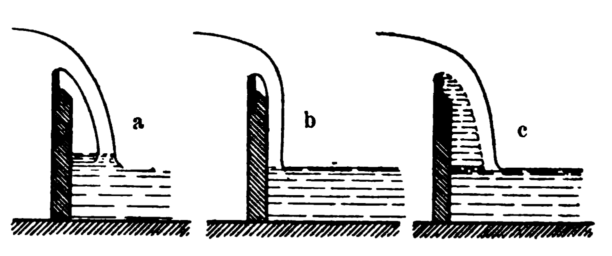


Abb. 10. *Strahlformen.*

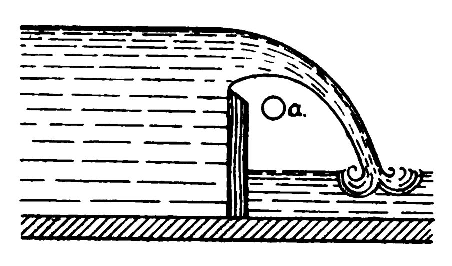


Abb. 11. *Überfall ohne Seitenkontraktion mit Luftzutritt.*

Trägt man noch der unter Umständen vom Wasser mitgerissenen Luft Rechnung, so hängt die Überfallmenge von so vielen Faktoren ab, dass unangreifbare Resultate von Wassermengenmessungen mittels Überfälle nur in solchen Grenzen ausführbar sind, für welche analoge Zustände wie bei den „Messbehälterversuchen" vorliegen, an denen jedoch die Fachliteratur nicht überreich ist. Bei Überfällen ohne Seitenkontraktion muss daher in einer der senkrechten Seitenwände eine in Abb. 11 mit *a* bezeichnete

Tabelle II.

Werte der Koeffizienten μ für Überfälle ohne Seitenkontraktion nach Hansen in der Formel: $Q = \mu B \sqrt{2 g h^3}$

Druckhöhe h mm	Überfallkoeffizient μ	Druckhöhe h mm	Überfallkoeffizient μ
100	0,4161	240	0,4295
120	0,4176	260	0,4319
140	0,4192	280	0,4344
160	0,4210	300	0,4371
180	0,4229	320	0,4399
200	0,4250	340	0,4428
220	0,4272	360	0,4459

Ventilationsöffnung, je nach der Breite b von 50 bis 80 mm Durchmesser angebracht werden, die den Zweck hat, den durch die Gerinnewände, durch die Überfallwand und den überfallenden Strahl begrenzten und gegen die Atmosphäre abgeschlossenen Raum mit dieser zu verbinden. Ohne diese Öffnungen führen die Messungen zu unbrauchbaren Resultaten.

Die Bestimmung der Wassermenge bei Überfällen ohne Seitenkontraktion durch M. H. Bazin

über welche Prof. Dr. Keller in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1889 und 1891 nach „Annales de ponts et chaussées" berichtete, erfolgte mit einem Versuchswehr aus 10 cm starken Balken, an deren oberstem zur Bildung einer Überfallkante ein 7 mm dicker und 0,20 m hoher Blechstreifen befestigt war, der somit um 0,10 m über den Balken emporragte. Von einem seitlich angebrachten Beobachtungsraum aus konnte man erkennen, dass der überfallende Strahl an der stromaufwärts gelegenen Kante des Bleches dasselbe verliess.

Da dieser Versuchsüberfall die ganze Breite des Kanals einnahm, war natürlich jede seitliche Kontraktion vermieden; dagegen müssten, um den Luftzutritt unter den Kanal sicherzustellen, Seitenkammern neben dem Kanal hergestellt werden,

die durch Löcher unmittelbar hinter dem Wehr mit dem freien Raum unterhalb des Strahles in Verbindung standen.

Die überfallende Wassermenge wurde in einem durch wasserdichte Wände abgeschlossenen Kanal aufgefangen und durch Inhaltsbestimmung gemessen. Die Verluste, welche durch Infiltration und Sprünge im Verputze sich ergaben, betrugen kaum mehr als $^1/_{800}$ der ganzen gemessenen Wassermenge.

Auf Feststellung der Wasserdruckhöhe ist eine aussergewöhnliche Sorgfalt verwendet worden, ferner hielt Bazin — wie es auch schon bei anderweitigen Wassermengemessungen in Anwendung gebracht wurde — die Bestimmung der Wasseroberfläche durch eine aus dem Wasser auftauchende Spitze für zuverlässiger, als durch die gegen den Wasserspiegel sich hinabbewegende Unterkante einer Messlatte, da in letzterem Falle die Adhäsion des Wassers zu grossen Irrtümern führen kann.

Bemerkenswert dürfte auch sein, dass Bazin annahm, die Senkung des Wasserspiegels vor der Überfallkante sei erst in einem Abstande von 5 m stromaufwärts nicht mehr wahrzunehmen und dass er demgemäss die Bestimmung der Wasserdruckhöhe, d. h. des Oberwasserspiegels in diesem Abstande vor dem Überfalle vorgenommen hat.

Tabelle III.

Werte der Koeffizienten m bezw. m_1 nach M. H. Bazin in der Formel $Q = m b h \sqrt{2 g h}$ bei einer Überfallhöhe von

Druckhöhe h bezw. h_1	1,13 m	0,75 m	0,50 m	0,35 m	0,24 m
0,05	0,4485	0,4487	0,4490	0,4495	0,4505
0,10	0,4336	0,4346	0,4359	0,4388	0,4448
0,15	0,4284	0,4316	0,4359	0,4424	0,4522
0,20	0,4262	0,4327	0,4392	0,4492	0,4619
0,25	0,4259	0,4350	0,4436	0,4564	0,4720
0,30	0,4266	0,4374	0,4484	0,4638	0,4822
0,35	0,4275	0,4401	0,4534	0,4715	0,4927
0,40	0,4286	0,4430	0,4585	0,4794	0,5034
0,44	0,4297	0,4452			

Die Ergebnisse dieser Versuche mit einer Überfallbreite von 2 m sind in vorstehender zusammengezogener Tabelle III dargestellt.

Für praktische Fälle lassen sich die in der einfachen Formel

$$Q = m b h \sqrt{2 g h}$$

einzusetzenden Koeffizienten *m* bestimmen durch die Gleichungen

$$m = 0{,}425\left[1 + {}^1/_2\left(\frac{h}{h + w}\right)^2\right] = 0{,}425 + 0{,}212\left(\frac{h}{h + w}\right)^2,$$

wobei unter *w* die verschiedene Überfallhöhe verstanden ist, die nach der Tabelle III $w = 0{,}24$ bis 1,13 m betrug.

Auch im vorliegenden Falle fehlt vom Experimentatoren der Hinweis nicht, dass die hierin bestimmten Werte nur für die Verhältnisse gelten, unter welchen sie erhalten wurden, d. h. für Überfälle ohne Seitenkontraktion, mit scharfer Überfallkante und mit Luftzutritt unter dem überfallenden Strahle. Treffen in einem praktischen Falle diese Bedingungen nicht ein, so wäre es ein Fehler, nach vorstehender Tabelle zu arbeiten.

Verfasser kann den Versuchen mit Überfällen ohne Seitenkontraktion für den praktischen Gebrauch keinen übergrossen Wert beimessen, jedoch soll ihre experimentelle Bedeutung für die Hydrotechnik nicht ausser acht gelassen werden. Die Anwendung dieses Messverfahrens bei Prüfung hydraulischer Motoren auf Wirkungsgrad stösst in der Praxis auf mancherlei Schwierigkeiten, insbesondere auf Weitläufigkeiten, da die Vorbedingungen zu solchen Messungen sich mit den örtlichen Verhältnissen bei Wasserkraftanlagen nur in den seltensten Fällen decken werden. Es treten Störungen ein, welche der Aufmerksamkeit der Beobachter entgehen. Die vorhandenen Zu- und Ablaufgerinne bei Wassermotoren sind für den Einbau derartiger Überfälle nicht ohne weiteres geeignet; besondere umfangreiche Zubauten lassen sich wegen Mangel an Hilfsmitteln und Zeit öfters nicht mit der nötigen Sorgfalt ausführen, tragen deshalb den Charakter des Provisorischen und Zufälligen an sich; sie können somit nicht jene ausreichende Gewähr für Genauigkeit und Zuverlässigkeit bieten, wie bei Bremsung von Wassermotoren verlangt werden muss, soll nicht den fast regelmässig an die Versuchsergebnisse sich anschliessenden Kontroversen der Experimentatoren mit den ausführenden Turbinenfabriken Tür und Tor geöffnet sein.

Befindet sich der Versuchsüberfall im Obergraben, so muss ein Teil des verfügbaren Triebgefälles geopfert werden, um das Messverfahren überhaupt zu ermöglichen; erst nachträglich kann die volle Leistungsfähigkeit und Geschwindigkeit des Motors bei vollständig ausgenutztem Gefälle auf rechnerischem Wege festgestellt werden, was immerhin einige Unsicherheit bezüglich des Resultates im Gefolge hat, da sich die verbrauchte Wassermenge und der Wirkungsgrad ändert. Ist der Überfall im Abzugsgraben erstellt, so muss ebenfalls ein Bruchteil des Gefälles verloren gegeben werden, abgesehen davon, dass die vergrösserte Tauchung im Unterwasser bei gewissen hydraulischen Motoren nur mit einem Abfall an Nutzeffekt vertragen wird. Auch lassen sich bei der heutigen Ausführung von Wasserbauten vorzugsweise in Stampfbeton nachträgliche Änderungen an den Gerinnen, z. B. die Anbringung der seitlichen sog. Luftlöcher meistens nur unter erschwerenden Umständen ausführen.

Vom praktischen Gesichtspunkte aus verdienen die Wassermengemessungen aus Anlass der Abnahmeversuche am Pumpwerk zur Speisung des Rhein-Marne-Kanals bei Gondrexchange, (Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1900) noch Erwähnung. Das vorhandene Gefälle betrug 10,8 bis 11,2 m, die Wassermenge 400 bis 1500 Liter in der Sekunde. —

Zu den Wassermessungen wurden scharfkantige Überfälle einerseits in den Untergraben der Turbinen, andererseits in den Zulaufkanal der Pumpen eingebaut. In Betreff der Überfälle von 4,7 m Breite, welche seitlich keine scharfen Kanten hatten, beschränkte man sich nicht darauf, die Koeffizienten irgend einem Buche zu entnehmen, sondern bestimmte sie dadurch, dass man eine rund 99 m lange gerade Strecke des Zulaufkanals entleerte, sie dann über den Überfall wieder auffüllte, den Messbehälter genau ausmass und die Zeit für die Füllung beobachtete. Dieser Versuch wurde mit 17 verschiedenen Überfallhöhen zwischen 150 und 450 mm ausgeführt und dadurch für den Ausflusskoeffizienten Werte gefunden, die zwischen 0,4135 und 0,433 schwanken.

Versuche über den Abfluss des Wassers bei vollkommenen Überfällen.

Prof. F. Frese hat im Jahre 1887 an der in der Nähe der Stadt Hannover gelegenen Herrenhäuser Schiffahrtsschleuse ausgedehnte Versuche angestellt und neue Formeln zur Berechnung der bei vollkommenen scharfkantigen Überfällen abfliessenden Wassermengen auf Grund seiner eignen und älterer Versuche entwickelt. Die Freseschen Arbeiten bezweckten, innerhalb möglichst weiter Grenzen das Verhältnis der bei einem vollkommenen scharfkantigen Überfalle wirklich abfliessenden zu der theoretischen Wassermenge zu bestimmen; sie wurden nach dem folgenden allgemeinen Arbeitsplan zur Durchführung gebracht.

Die Versuche sollten in systematischer Reihenfolge Überfälle mit seitlicher Zusammenziehung des Strahles verschiedene Breite und Höhe umfassen, bis zu den durch die Örtlichkeit gegebenen oberen Grenzen. Da die Schleuse, welche für die Versuchszwecke benutzt wurde, eine Breite von 6,3 m besitzt, so konnte noch eine Überfallbreite von 5,5 m ausgenutzt werden. Die grösste Überfallhöhe betrug bei kleineren Breiten 0,6 m, war aber bei grösseren Breiten mit Rücksicht auf den geringen Inhalt des Messbehälters und die dadurch bedingte kurze Füllungs- bezw. Beobachtungszeit weiter zu beschränken. Als Abstufung für die Überfallbreiten wurde ein Mass von 0,5 m angenommen, die Veränderung in den Überfallhöhen zu 0,1 m bestimmt.

Bislang fehlte es an Versuchen im Grossen, bei welchen in systematischer Reihenfolge möglichst verschiedene Verhältnisse in Bezug auf Überfall und Zulaufkanal einer vergleichenden Untersuchung unterzogen wurden. Mit Hilfe der Resultate seiner Messungen war es Professor Frese möglich, einen befriedigenden Zusammenhang zwischen den wichtigsten Ergebnissen älterer Versuchsansteller herzustellen und Formeln zu entwickeln, welche für weite Grenzen praktische Brauchbarkeit besitzen.

Wir verzichten darauf, hier auf die Beschreibung der Versuchseinrichtungen, das zur Anwendung gekommene Verfahren, die Berechnung der Versuchsergebnisse und die Entwickelung der neuen Formeln näher einzutreten und verweisen auf die Originalarbeit, [1]) verzeichnen jedoch die von Prof. Frese aus seinen Untersuchungen

---

[1]) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1890.

gezogenen Schlüsse, weil sie für die Beurteilung der Wassermengemessungen von besonderem Werte sind.

Aus den Zusammenstellungen geht hervor, dass bei aussergewöhnlichen Fällen die gebräuchlichen Formeln nicht mehr unmittelbar zur Anwendung geeignet sind; strömt z. B. das Wasser durch einen schmalen Schlitz, so tritt eine erhebliche Zunahme des Koeffizienten ein.

Für Überfälle ohne seitliche Zusammenziehung des Strahles darf als geringstes zuverlässiges Mass für die Überfallhöhe $h = 0{,}1$ m bezeichnet werden. Für Überfälle mit seitlicher Zusammenziehung des Strahles sind die Koeffizienten ebenfalls nur anwendbar bis zu einer geringsten Überfallhöhe $h = 0{,}1$ m, die grösste zulässige Höhe betrug in Herrenhausen $h = 0{,}6$ m, Frese empfiehlt, über diese Grenzen nicht wesentlich hinauszugehen.

Ausser den Hauptversuchen wurden noch einige Nebenversuche angestellt, die sich auf die Bestimmung der Absenkung des Wasserspiegels in der Ebene der Überfallkante und auf die Seitenablenkungen der Wasserfäden in derselben Ebene bezogen.

Aus den Ergebnissen dieser Versuche geht folgendes hervor:

a) die Absenkung wächst mit zunehmender Breite, bis sie bei einem bestimmten Mass derselben einen gewissen grössten Wert annimmt, der sich dann nicht mehr ändert;
b) die Absenkung nimmt zu mit wachsender Überfallhöhe;
c) je grösser die Überfallhöhe, desto grösser ist die Breite, bei welcher die Absenkung ihren grössten Wert erreicht;
d) die grösste Absenkung steht in einem bestimmten Verhältnis zu der Überfallhöhe und beträgt wahrscheinlich etwa 0,15 der letzteren.[1]) (Abb. 12.)

Ferner

1. Die Seitenströmungen beeinflussen bei breiteren Überfällen nur einen gewissen Teil des Überfalles (Abb. 13) in der Mitte bleibt für die Breite $b - b_1$ der Parallelismus der nebeneinander fliessenden Schichten gewahrt.

---

[1]) Auch Bazin hat bei seinen ausgedehnten Versuchen an Überfällen ohne seitliche Strahlzusammenziehung gefunden, dass die Strahlform in geringerem Mass von der Kanaltiefe beeinflusst wird, dass aber das Verhältnis der Koordinaten der Strahloberfläche (in Bezug auf die Überfallkante als Nullpunkt) zu der Überfallhöhe von dieser unabhängig ist.

2. Das Mass b_1 ist unabhängig von der Überfallbreite b, wächst aber mit der Überfallhöhe h und beträgt etwa:

für h = 0,2 m	b_1 = 1,5 m,
= 0,3 m	= 2,0 m,
= 0,4 m	= 2,5 m,
= 0,4 m	= 3,0 m.

Vergleicht man, um eine Übersicht zu gewinnen, die unmittelbar aus den Herrenhäuser Versuchen folgenden Werte für den Ausflusskoeffizienten μ in ihrer Abhängigkeit,

1. von der Überfallhöhe h,
2. von der Überfallbreite b,



Abb. 12.

so erkennt man, abgesehen von vielen Unregelmässigkeiten, doch im grossen und ganzen eine gewisse Gesetzmässigkeit der Änderung von μ mit derjenigen von h und b; es ergibt sich nämlich:

a) der Koeffizient μ nimmt ab mit wachsender Tiefe und zwar anfänglich rasch, dann langsamer;
b) der Koeffizient μ wächst mit der Breite und zwar anfangs rasch, dann langsamer.

Beide Gesetze sind nicht neu, die Herrenhäuser Versuche haben in dieser Beziehung lediglich das bestätigt, was andere Versuchsansteller längst fanden, sobald ihre Ergebnisse nicht durch Nebenumstände, namentlich grosse Zulaufgeschwindigkeit beeinflusst wurden.

Frese dehnte seine Untersuchungen auch darauf aus, ob sich das angedeutete Gesetz der Abhängigkeit der Koeffizienten μ von der Überfallhöhe, innerhalb der Grenzen, für welche bislang Versuche vorliegen, immer als zutreffend erwiesen hat, und zieht die Versuche

von LESBROS und PONCELET, die Formeln von WEISBACH, REDTENBACHER, BRASCHMANN, FTELEY und STEARNS, BAZIN und CASTEL, sowie von FRANCIS zu diesem Zweck in Betracht.

Um die Anwendung seiner Formeln zu erleichtern, hat Frese Tabellen IV, IVa und IVb S. 36—38 berechnet, für deren Benutzung folgendes zu bemerken ist.

In der sog. Dubuatschen Formel für den Abfluss von Wasser über einen vollkommenen Überfall:

$$Q = {}^2/_3\, \mu\, b\, h \sqrt{2gh}$$

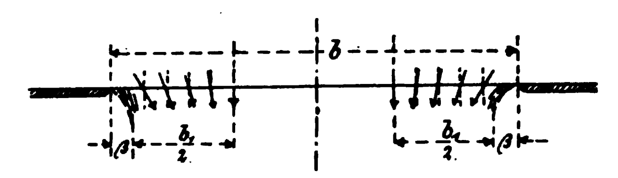


Abb. 13. *Seitenströmungen beeinflussen einen Teil des Überfalles.*

worin bezeichnet:

Q die sekundliche abfliessende Wassermenge (cbm),
b die Breite des Überfalles (m),
h die Höhe des noch ungesenkten Wasserspiegels über der Überfallkante (m),
g die Beschleunigung der Schwere = 9,81 m,
μ einen Erfahrungswert, dessen Bestimmung Zweck der von einer namhaften Anzahl Hydrauliker angestellten Versuche war,

ergibt sich nach μ aufgelöst

$$\mu = \frac{Q}{{}^2/_3\, b\, h \sqrt{2gh}}$$

Frese fand als Ergebnis seiner Versuche

$$\mu_0 = 0{,}5755 + \frac{0{,}017}{h + 0{,}18} - \frac{0{,}075}{b + 1{,}2},$$

welche als Grundformel zu betrachten ist, für die Änderung des Ausflusskoeffizienten μ_0 bei einem vollkommenen Überfalle mit seitlicher Strahlzusammenziehung in einem Wehr mit senkrechten Wänden, einer scharfkantigen Ausflussöffnung und in einem Zuflusskanal von sehr grossen Abmessungen.

Man entnimmt den Grundwert

$$\mu_0 = 0{,}5755 + \frac{0{,}017}{h + 0{,}18} - \frac{0{,}075}{b + 1{,}2}$$

aus Tabelle IV für irgend ein bestimmtes h und b, vervielfältigt ihn mit einer Zahl

$$\varepsilon = 1 + \left[0{,}25\left(\frac{b}{B}\right)^2 + \zeta'\right]\left(\frac{h}{H}\right)^2,$$

welche sich bei gegebenen Kanalabmessungen, also bekannten Werten $\left(\frac{h}{H}\right)$ und $\left(\frac{b}{B}\right)$ aus Tabelle IVa ermitteln lässt und hat dann in $\mu = \mu_0 \varepsilon$ den gesuchten Ausflusskoeffizienten eines Überfalles in einem Kanal von den Abmessungen B und H.

Tabelle IV.

Ergebnisse der Formel $\mu_0 = 0{,}5755 + \frac{0{,}017}{h + 0{,}18} - \frac{0{,}075}{b + 1{,}2}$.

$h =$	$b =$ 0,1 m	0,2 m	0,3 m	0,4 m	0,5 m	0,6 m	0,7 m	0,8 m
0,1 m	0,5785	0,5826	0,5862	0,5893	0,5921	0,5945	0,5967	0,5987
0,2 m	0,5625	0,5666	0,5702	0,5733	0,5761	0,5785	0,5807	0,5827
0,3 m	0,5532	0,5573	0,5609	0,5640	0,5668	0,5692	0,5714	0 5734
0,4 m	0,5471	0,5512	0,5548	0,5579	0,5607	0,5631	0,5653	0,5673
0,5 m	0,5428	0,5469	0,5505	0,5536	0,5564	0,5588	0,5610	0,5630
0,6 m	0,5396	0,5437	0,5473	0,5504	0,5532	0,5556	0,5578	0,5598
$h =$	$b =$ 0,9 m	1,0 m	1,25 m	1,5 m	1,75 m	2,0 m	2,5 m	3,0 m
0,1 m	0.6005	0,6021	0,6056	0,6084	0,6108	0,6128	0,6159	0,6183
0,2 m	0,5845	0,5861	0,5896	0,5924	0,5948	0,5968	0,5999	0,6023
0,3 m	0,5752	0.5768	0,5803	0,5831	0,5855	0,5875	0,5906	0,5930
0,4 m	0,5691	0,5707	0,5742	0,5770	0,5794	0,5814	0,5845	0,5869
0,5 m	0,5648	0,5664	0,5699	0,5727	0,5751	0,5771	0,5802	0,5826
0,6 m	0,5616	0,5632	0,5667	0,5695	0,5719	0,5739	0,5770	0,5794
$h =$	$b =$ 3,5 m	4,0 m	4,5 m	5,0 m	5,5 m	6,0 m	6,5 m	7,0 m
0,1 m	0,6202	0,6218	0,6230	0,6241	0,6250	0,6258	0,6265	0,6271
0,2 m	0,6042	0,6058	0,6070	0,6081	0,6090	0,6098	0,6105	0,6111
0,3 m	0,5949	0,5965	0,5977	0,5988	0,5997	0,6005	0,6012	0,6018
0,4 m	0,5888	0,5904	0,5916	0,5927	0,5936	0,5944	0,5951	0,5957
0,5 m	0,5845	0,5861	0,5873	0,5884	0,5893	0,5901	0,5908	0,5914
0,6 m	0,5813	0,5829	0,5841	0,5852	0,5861	0,5869	0,5876	0,5882

Tabelle IVa.

Ergebnisse der Formel $\varepsilon = 1 + \left[0{,}25\left(\frac{b}{B}\right)^2 + \zeta'\right]\left(\frac{h}{H}\right)^2$

$\frac{h}{H} =$	$\frac{b}{B} = 0{,}1$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,05	1,0042	1,0043	1,0043	1,0043	1,0044	1,0045	1,0045	1,0046	1,0047	1,0049
0,06	1,0058	1,0058	1,0059	1,0059	1,0060	1,0061	1,0063	1,0064	1,0066	1,0067
0,07	1,0075	1,0075	1,0076	1,0077	1,0078	1,0079	1,0081	1,0083	1,0085	1,0087
0,08	1,0093	1,0093	1,0094	1,0095	1,0097	1,0098	1,0100	1,0103	1,0106	1,0109
0,09	1,0110	1,0111	1,0112	1,0113	1,0115	1,0117	1,0120	1,0123	1,0126	1,0130
0,10	1,0128	1,0129	1,0130	1,0132	1,0134	1,0137	1,0140	1,0144	1,0148	1,0153
0,125	1,0168	1,0170	1,0172	1,0175	1,0178	1,0182	1,0187	1,0193	1,0200	1,0207
0,150	1,0205	1,0206	1,0209	1,0213	1,0218	1,0224	1,0232	1,0240	1,0250	1,0261
0,175	1,0235	1,0237	1,0241	1,0246	1,0253	1,0262	1,0272	1,0283	1,0296	1,0311
0,200	1,0261	1,0264	1,0269	1,0276	1,0285	1,0296	1,0309	1,0324	1,0341	1,0360
0,225	1,0283	1,0286	1,0293	1,0302	1,0313	1,0327	1,0343	1,0362	1,0384	1,0408
0,250	1,0301	1,0306	1,0314	1,0325	1,0339	1,0356	1,0376	1,0400	1,0426	1,0456
0,275	1,0317	1,0323	1,0333	1,0346	1,0363	1,0384	1,0408	1,0437	1,0469	1,0505
0,300	1,0331	1,0338	1,0349	1,0365	1,0385	1,0410	1,0439	1,0473	1,0511	1,0554
0,325	1,0344	1,0352	1,0365	1,0384	1,0408	1,0437	1,0471	1,0511	1,0556	
0,350	1,0356	1,0365	1,0381	1,0402	1,0430	1,0463	1,0503	1,0549	1,0601	
0,375	1,0367	1,0378	1,0395	1,0420	1,0451	1,0490	1,0536	1,0589		
0,400	1,0377	1,0389	1,0409	1,0437	1,0473	0,0517	1,0569	1,0629		
0,45	1,0397	1,0412	1,0437	1,0473	1,0518	1,0574	1,0640			
0,50	1,0416	1,0435	1,0466	0,0510	1,0566	1,0635				
0,55	1,0435	1,0458	1,0495	1,0548	1,0616					
0,60	1,0454	1,0481	1,0526	1,0589	1,0670					
0,65	1,0474	1,0506	1,0559	1,0632	1,0728					
0,70	1,0495	1,0532	1,0593	1,0679	1,0789					
0,75	1,0517	1,0559	1,0629	1,0728						
0,80	1,0540	1,0588	1,0668	1,0780						
0,85	1,0564	1,0618	1,0708	1,0834						
0,90	1,0589	1,0650	1,0751	1,0893						
0,95	1,0616	1,0683	1,0796	1,0954						
1,0	1,0643	1,0718	1,0843	1,1018						

Tabelle IVb.

Ergebnisse der Formel $\zeta' = 0{,}025 + \frac{0{,}0375}{\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 0{,}02}$.

$\frac{h}{H}$	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040
ζ'	1,8977	1,8907	1,8791	4,8632	1,8432	1.8193	1,7918	1,7611
$\frac{h}{H}$	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	0,070	0,075	0,080
ζ'	1,7276	1,6917	0,6537	1,6140	1.5730	1,5310	1,4884	1,4455
$\frac{h}{H}$	0,085	0,090	0,095	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200
ζ'	1,4024	1,3595	1,3170	1,2750	1,0776	0,9074	0,7657	0,6500
$\frac{h}{H}$	0,225	0,250	0,275	0,300	0,325	0,350	0,375	0,400
ζ'	0,5560	0,4795	0,4172	0,3659	0,3235	0,2882	0,2585	0,2333
$\frac{h}{H}$	0,425	0,450	0,475	0,500	0,525	0,550	0,575	0,600
ζ'	0,2069	0,1935	0,1776	0,1639	0,1518	0,1413	0,1320	0,1237
$\frac{h}{H}$	0,650	0,700	0,750	0,800	0,850	0,900	0,950	1,000
ζ'	0,1097	0,0985	0,0894	0,0818	0,0755	0,0702	0,0657	0,0618

In Tabelle IV a ist durch einen starken Strich ungefähr die obere Grenze bezeichnet, für welche Versuche vorliegen, es dürfte sich empfehlen, über diese Grenzen nicht wesentlich hinauszugehen.

Frese selbst ist der Ansicht, dass diese Formeln keineswegs als durchaus richtig und unanfechtbar gelten können, dass sie aber immerhin Werte liefern, welche in allen Fällen, wo nicht aussergewöhnliche Verhältnisse in Frage kommen, mit der Erfahrung hinreichend gut übereinstimmen, so dass sie mit verhältnismässig

grosser Sicherheit für weite Grenzen angewandt werden können und dabei einen den praktischen Bedürfnissen durchaus genügenden Grad von Genauigkeit gewähren.

Die Schlussergebnisse Freses können dahin zusammengestellt werden, dass keine Formel zu finden ist, die alle Verhältnisse umfasst und dass man sich hüten muss, eine bestimmte Grundformel zu verwenden für Verhältnisse, für die sie gar nicht entwickelt wurde. —

Wie wir aus unseren bisherigen Ausführungen ersehen, sind durch zahlreiche mühevolle Versuche im Laufe der Zeit grosse Fortschritte in der Hydraulik erzielt worden, allein trotz einer grossen Anzahl von Formeln und sinnreich ausgeführter Messgeräte sind wir noch nicht in der Lage, eine Wassermenge mit absoluter Zuverlässigkeit angeben zu können. Die Hydrometrie stellt somit noch die dankbarsten Aufgaben auf diesem volkswirtschaftlich hochwichtigen Gebiete.

Ausflussgeschwindigkeit des Wassers aus der Öffnung eines Behälters.

Bei rechnerischer Verfolgung der Bewegung des Wassers in offenen und geschlossenen Leitungen ist man beständig veranlasst, die Ausflussgeschwindigkeit, welche dem Wasser bei einer gegebenen Druckhöhe zukommt, sowie auch umgekehrt die Druckhöhe zu bestimmen, die einer gegebenen Geschwindigkeit entspricht.

Ist h der lotrechte Abstand des Schwerpunktes einer Ausflussöffnung vom Wasserspiegel, so ist die Geschwindigkeit v, mit der das Wasser aus der Öffnung ausfliesst

$$v = \sqrt{2gh}$$

worin $g = 9{,}8088$ m/sec. die Beschleunigung beim freien Fall bezeichnet.

Nachstehende Tabelle enthält die zusammengehörigen Werte von h und v für Druckhöhen von 0,01 bis 300 m, wobei $h = \frac{v^2}{2g}$ und $v^2 = 2gh$. In Wirklichkeit ist diese theoretische Geschwindigkeit der unvermeidlichen Nebenhindernisse wegen immer etwas kleiner. Der Unterschied zwischen der berechneten

(theoretischen) und der wirklichen Ausflussgeschwindigkeit ist jedoch in der Regel nicht gross (2 bis 4 %), übersteigt selten 5 bis 8 %.

Zur Berechnung der Widerstandshöhen für Rohrleitungen ist die von H. Halbertsma aufgestellte Tabelle zu empfehlen, welche Wassermengen pro Minute ($Q = 15\, v \pi d^2$), Widerstandshöhen $\left(h = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}\right)$ von $d = 0{,}020$ bis 1,250 m L. W., $v = 0{,}05$ bis 3,0 m Geschwindigkeit und $l = 100$ m Länge, enthält, worin

$$g = 9{,}81 \text{ m}, \ \lambda = 0{,}01989 + \frac{0{,}0005078}{d}$$

(nach Darcy). (Sonderabdruck aus dem „Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung“ 1892, Nr. 9.)

Tabelle V

für Druckhöhen $h = \frac{v^2}{2g}$ und theoretische Ausflussgeschwindigkeiten $v = \sqrt{2gh}$.

Druckhöhe h in m	Geschwindigkeit v	Druckhöhe h in m	Geschwindigkeit v	Druckhöhe h in m	Geschwindigkeit v	Druckhöhe h in m	Geschwindigkeit v	Druckhöhe h in m	Geschwindigkeit v
0,01	0,443	0,22	2,118	0,43	2,904	0,64	3,543	0,85	4,083
0,02	0,626	0,23	2,124	0,44	2,938	0,65	3,571	0,86	4,107
0,03	0,767	0,24	2,170	0,45	2,971	0,66	3,598	0,87	4,131
0,04	0,886	0,25	2,215	0,46	3,004	0,67	3,625	0,88	4,155
0,05	0,990	0,26	2,259	0,47	3,037	0,68	3,652	0,89	4,178
0,06	1,085	0,27	2,301	0,48	3,069	0,69	3,679	0,90	4,202
0,07	1,172	0,28	2,344	0 49	3,100	0,70	3,706	0,91	4,225
0,08	1,253	0,29	2,385	0,50	3,132	0,71	3,732	0,92	4,248
0,09	1,329	0,30	2,426	0,51	3,163	0,72	3,758	0,93	4,271
0,10	1,401	0,31	2,466	0,52	3,194	0,73	3,784	0,94	4,294
0,11	1,468	9,32	2,506	0,53	3,224	0,74	3,810	0,95	4,317
0,12	1,534	0,33	2,544	0,54	3,253	0,75	3,836	0,96	4,340
0,13	1,597	0,34	2,582	0,55	3,285	0,76	3,861	0,97	4,362
0,14	1,657	0,35	2,620	0,56	3,314	0,77	9,886	0,98	4,384
0,15	1,715	0,36	2,658	0,57	3,344	0,78	3,911	0,99	4,407
0,16	1,772	0,37	2,694	0,58	3,373	0,79	3,936	1,00	4,429
0,17	1,826	0,38	2,730	0,59	3,402	0,80	3,961	1,01	4,451
0,18	1,879	0,39	2,766	0,60	3,431	0,81	3,986	1,02	4,473
0,19	1,931	0,40	2,801	0,61	3,459	0,82	4,011	1,03	4,495
0,20	1,981	0,41	2,836	0,62	3,488	0,83	4,035	1,04	4,417
0,21	2,030	0,42	2,870	0,63	3,516	0,84	4,059	1,05	4,439

Druckhöhe *h* in m	Geschwindigkeit *v*	Druckhöhe *h* in m	Geschwindigkeit *v*	Druckhöhe *h* in m	Geschwindigkeit *v*	Druckhöhe *h* in m	Geschwindigkeit *v*	Druckhöhe *h* in m	Geschwindigkeit *v*
1,06	4,560	1,48	5,388	1,90	6,105	2,32	6,746	2,74	7,332
1,07	4,582	1,49	5,406	1,91	6,122	2,33	6,761	2,75	7,345
1,08	4,603	1,50	5,425	1,92	6,138	2,34	6,775	2,76	7,358
1,09	4,624	1,51	5,443	1,93	6,154	2,35	6,790	2,77	7,372
1,10	4,645	1,52	5,461	1,94	6,170	2,36	6,803	2,78	7,385
1,11	4,666	1,53	5,479	1,95	6,186	2,37	6,819	2,79	7,398
1,12	4,687	1,54	5,496	1,96	6,202	2,38	6,833	2,80	7,411
1,13	4,708	1,55	5,514	1,97	6,217	2,39	6,847	2,81	7,425
1,14	4,729	1,56	5,532	1,98	6,232	2,40	6,862	2,82	7,437
1,15	4,750	1,57	5,550	1,99	6,248	2,41	6,876	2,83	7,451
1,16	4,770	1,58	5,567	2,00	6,264	2,42	6,890	2,84	7,464
1,17	4,790	1,59	5,585	2,01	6,279	2,43	6,904	2,85	7,477
1,18	4,811	1,60	5,603	2,02	6,295	2,44	6,919	2,86	7,490
1,19	4,831	1,61	5,620	2,03	6,311	2,45	6,933	2,87	7,503
1,20	4,852	1,62	5,637	2,04	6,326	2,46	6,947	2,88	7,517
1,21	4,872	1,63	5,655	2,05	6,341	2,47	6,961	2,89	7,530
1,22	4,892	1,64	5,672	2,06	6,357	2,48	6,975	2,90	7,543
1,23	4,913	1,65	5,690	2,07	6,372	2,49	6,989	2,91	7,556
1,24	4,933	1,66	5,707	2,08	6,388	2,50	7,003	2,92	7,569
1,25	4,053	1,67	5,725	2,09	6,403	2,51	7,017	2,93	7,582
1,26	4,972	1,68	5,741	2,10	6,418	2,52	7,031	2,94	7,594
1,27	4,991	1,60	5,758	2,11	6,434	2,53	7,045	2,95	7,607
1,28	5,011	1,70	5,775	2,12	6,449	2,54	7,059	2,96	7,620
1,29	5,031	1,71	5,792	2,13	6,464	2,55	7,075	2,97	7,633
1,30	5,050	1,72	5,809	2,14	6,479	2,56	7,087	2,98	7,646
1,31	5,069	1,73	5,826	2,15	6,494	2,57	7,101	2,99	7,659
1,32	5,089	1,74	5,842	2,16	6,510	2,58	7,114	3,00	7,672
1,33	5,108	1,75	5,859	2,17	6,525	2,59	7,128	3,01	7,684
1,34	5,127	1,76	5,876	2,18	6,540	2,60	7,142	3,02	7,697
1,35	5,146	1,77	5,893	2,19	6,555	2,61	7,156	3,03	7,710
1,36	5,165	1,78	5,909	2,20	6,570	2,62	7,169	3,04	7,722
1,37	5,184	1,79	5,926	2,21	6,584	2,63	7,183	3,05	7,735
1,38	5,203	1,80	5,942	2,22	6,599	2,64	7,197	3,06	7,748
1,39	5,222	1,81	5,959	2,23	6,614	2,65	7,210	3,07	7,760
1,40	5,241	1,82	5,975	2,24	6,629	2,66	7,224	3,08	7,773
1,41	5,259	1,83	5,992	2,25	6,644	2,67	7,237	3,09	7,786
1,42	5,278	1,84	6,008	2,26	6,658	2,68	7,251	3,10	7,798
1,43	5,297	1,85	6,024	2,27	6,673	2,69	7,265	3,11	7,811
1,44	5,315	1,86	6,041	2,28	6,688	2,70	7,278	3,12	7,823
1,45	5,333	1,87	6,057	2,29	6,705	2,71	7,291	3,13	7,836
1,46	5,351	1,88	6,073	2,30	6,717	2,72	7,305	3,14	7,849
1,47	5,370	1,89	6,089	2,31	6,732	2,73	7,318	3,15	7,861

Druckhöhe *h* in m	Geschwindigkeit *v*	Druckhöhe *h* in m	Geschwindigkeit *v*	Druckhöhe *h* in m	Geschwindigkeit *v*	Druckhöhe *h* in m	Geschwindigkeit *v*	Druckhöhe *h* in m	Geschwindigkeit *v*
3,16	7,873	3,58	8,380	4,00	8,858	4,42	9,322	4,84	9,754
3,17	7,886	3,59	8,392	4,01	8,869	4,43	9,333	4,85	9,764
3,18	7,898	3,60	8,404	4,02	8,880	4,44	9,343	4,86	9,774
3,19	7,911	3,61	8,415	4,03	8,892	4,45	9,354	4,87	9,784
3,20	7,923	3,62	8,427	4,04	8,903	4,46	9,364	4,88	9,794
3,21	7,936	3,63	8,439	4,05	8,914	4,47	9,375	4,89	9,804
3,22	7,948	3,64	8,450	4,06	8,925	4,48	9,385	4,90	9,814
3,23	7,960	3,65	8,462	4,07	8,936	4,49	9,396	4,91	9,824
3,24	7,973	3,66	8,474	4,08	8,946	4,50	9,406	4,92	9,834
3,25	7,985	3,67	8,485	4,09	8,957	4,51	9,417	4,93	9,844
3,26	7,997	3,68	8,497	4,10	8,968	4,52	9,427	4,94	9,854
3,27	8,009	3,69	8,508	4,11	8,979	4,53	9,437	4,95	9,864
3,28	8,022	3,70	8,520	4,12	8,990	4,54	9,448	4,96	9,874
3,29	8,034	3,71	8,531	4,13	9,001	4,55	9,458	4,97	9,884
3,30	8,046	3,72	8,543	4,14	9,012	4,56	9,468	4,98	9,894
3,31	8,058	3,73	8,554	4,15	9,023	4,57	9,479	4,99	9,904
3,32	8,070	3,74	8,566	4,15	9,034	4,58	9,489	5,00	9,914
3,33	8,082	3,75	8,577	4,17	9,045	4,59	9,500	5,25	10,149
3,34	8,095	3,76	8,588	4,18	9,055	4,60	9,510	5,50	10,387
3,35	8,107	3,77	8,600	4,19	9,066	4,61	9,520	5,75	10,621
3,36	8,119	3,78	8,611	4,20	9,077	4,62	9,530	6,00	10,849
3,37	8,131	3,79	8,623	4,21	9,088	4,63	9,541	6,25	11,073
3,38	8,143	3,80	8,634	4,22	9,099	4,64	9,551	6,50	11,292
3,39	8,155	3,81	8,645	4,23	9,109	4,65	9,561	6,75	11,507
3,40	8,167	3,82	8,657	4,24	9,120	4,66	9,572	7,00	11,718
3,41	8,179	3,83	8,668	4,25	9,131	4,67	9,582	7,25	11,916
3,42	8,191	3,84	8,679	4,26	9,142	4,68	9,592	7,50	12,130
3,43	8,203	3,85	8,691	4,27	9,152	4,69	9,602	7,75	12,330
3,44	8,215	3,86	8,702	4,28	9,163	4,70	9,612	8,00	12,528
3,45	8,227	3,87	8,713	4,29	9,174	4,71	9,623	8,25	12,722
3,46	8,239	3,88	8,725	4,30	9,185	4,72	9,633	8,50	12,913
3,47	8,251	3,89	8,736	4,31	9,195	4,73	9,643	8,75	13,102
3,48	8,263	3,90	8,747	4,32	9,206	4,74	9,653	9,00	13,288
3,49	8,274	3,91	8,758	4,33	9,217	4,75	9,663	9,25	13,471
3,50	8,286	3,92	8,769	4,34	9,227	4,76	9,673	9,50	13,652
3,51	8,298	3,93	8,780	4,35	9,248	4,77	9,684	9,75	13,830
3,52	8,310	3,94	8,792	4,36	9,259	4,78	9,694	10,00	14,006
3,53	8,322	3,95	8,803	4,37	9,270	4,79	9,704	11,00	14,690
3,54	8,333	3,96	8,814	4,38	9,280	4,80	9,714	12,00	15,343
3,55	8,345	3,97	8,825	4,39	9,291	4,81	9,724	13,00	15,970
3,56	8,357	3,98	8,836	4,40	9,301	4,82	9,734	14,00	16,572
3,57	8,369	3,99	8,847	4,41	9,312	4,83	9,744	15,00	17,154

Druckhöhe h in m	Geschwindigkeit v	Druckhöhe h in m	Geschwindigkeit v	Druckhöhe h in m	Geschwindigkeit v	Druckhöhe h in m	Geschwindigkeit v	Druckhöhe h in m	Geschwindigkeit v
16,00	17,717	41,00	28,361	66,00	35,983	91,00	42,252	180,00	59,424
17,00	18,257	42,00	28,704	67,00	36,254	92,00	42,483	185,00	60,243
18,00	18,791	43,00	29,044	68,00	36,524	93,00	42,713	190,00	61,052
19,00	19,308	44,00	29,380	69,00	36,791	94,00	42,942	195,00	61,850
20,00	19,808	45,00	29,712	70,00	37,057	95,00	43,170	200,00	62,638
21,00	20,297	46,00	30,040	71,00	37,321	96,00	43,397	205,00	63,416
22,00	20,775	47,00	30,365	72,00	37,583	97,00	43,622	210,00	64,185
23,00	21,242	48,00	30,686	73,00	38,843	98,00	43,847	215,00	64,944
24,00	21,698	49,00	31,004	74,00	38,101	99,00	44,070	220,00	65,695
25,00	22,146	50,00	31,329	75,00	38,358	100,00	44,292	225,00	66,438
26,00	22,584	51,00	31,631	76,00	38,013	105,00	45,368	230,00	67,171
27,00	23,015	52,00	31,939	77,00	38,866	110,00	46,454	235,00	67,898
28,00	23,437	53,00	32,245	78,00	39,117	115,00	47,498	240,00	68,616
29,00	23,852	54,00	32,548	79,00	39,367	120,00	48,519	245,00	69,328
30,00	24,250	55,00	32,848	80,00	39,616	125,00	49,520	250,00	70,031
31,00	24,661	56,00	33,145	81,00	39,863	130,00	50,500	255,00	70,728
32,00	25,055	57,00	33,440	82,00	40,108	135,00	51,462	260,00	71,418
33,00	25,444	58,00	33,732	83,00	40,352	140,00	52,407	265,00	72,102
34,00	25,826	59,00	34,021	84,00	40,594	145,00	53,334	270,00	72,780
35,00	26,203	60,00	34,308	85,00	40,835	150,00	54,246	275,00	73,450
36,00	26,575	61,00	34,593	86,00	41,074	155,00	55,143	280,00	74,114
37,00	26,942	62,00	34,875	87,00	41,313	160,00	56,025	285,00	74,773
38,00	27,303	63,00	35,155	88,00	41,549	165,00	56,894	290,00	75,426
39,00	27,660	64,00	35,433	89,00	41,785	170,00	57,749	295,00	76,074
40,00	28,013	65,00	35,709	90,00	42,019	175,00	58,592	300,00	76,716

II. Instrumente und Apparate zur Beobachtung der Wassergeschwindigkeit.

Geschwindigkeitsmessungen werden vorgenommen
a) mit Schwimmern (Stäbe, Kugeln, Flaschen u. s. w.),
b) „ hydrometrischen Röhren,
c) „ hydrometrischen Flügeln.

a) Schwimmer.

Die mit Schwimmern erzielten Resultate stellen nur Näherungswerte dar, immerhin ist diese Methode in allen den Fällen anwendbar, wo keine technischen Hilfsmittel zur Hand sind und es sich um ein einfaches und von jedermann anwendbares Verfahren handelt. Voraussetzung bei diesen Messungen ist, dass innerhalb einer gewissen Strecke der Wasserlauf geradlinig und der Flächeninhalt des Wasserquerschnittes, abgesehen von nur geringen Abweichungen in Breite und Tiefe, immer derselbe sei. Geradlinige Gerinne von Holz oder Stein eignen sich am besten für diese Messungen.

Zum Messen von Geschwindigkeiten in beliebigen Tiefen benutzt man Tiefenschwimmer und stellt sie aus Hohlkugeln her, die durch Einlegen von Schrot u. s. w. beliebig belastet und mittels feinen Drahtes an Oberflächenschwimmer gehängt werden. Stabschwimmer (hydrometrische Stäbe) bestehen aus Blechröhren, die, ebenfalls innerlich mit Schrot belastet, zu beliebiger Eintauchtiefe gebracht werden können.

Behufs Ausführung von Schwimmerbeobachtungen messe man an beiden Ufern gleiche Strecken ab, deren Länge womöglich nicht weniger als $L = 20$ m, wenn zulässig, noch mehr beträgt und bezeichne die Anfangs- und Endpunkte durch feste Marken. Ferner fülle man eine leere Flasche so weit mit Sand, Bleistücken oder Wasser an, dass dieselbe, annähernd lotrecht schwimmend, höchstens ein Drittel im Wasser eintaucht, um die grösste Geschwindigkeit zu erhalten. Einige Meter vor dem Anfangspunkte der abgemessenen Strecke werfe man die Flasche ins Wasser, da, wo die Wassergeschwindigkeit am grössten ist, was bei

geradlinigen Kanälen annähernd in der Mitte der Fall zu sein pflegt. Ermittelt man nun die Zeit, welche verfliesst, bis die Flasche die Verbindungslinie der Marken durchschwommen hat und dividiert die Streckenlänge in Meter durch die verflossene Zeit in Sekunden, so erhält man die Geschwindigkeit V des Wassers im Stromstriche in Meter.

Diese Geschwindigkeit ist grösser als die massgebende mittlere Geschwindigkeit v, das Verhältnis beider hängt von der Beschaffenheit des Flussbettes und von den Abmessungen des Wasserquerschnittes ab.

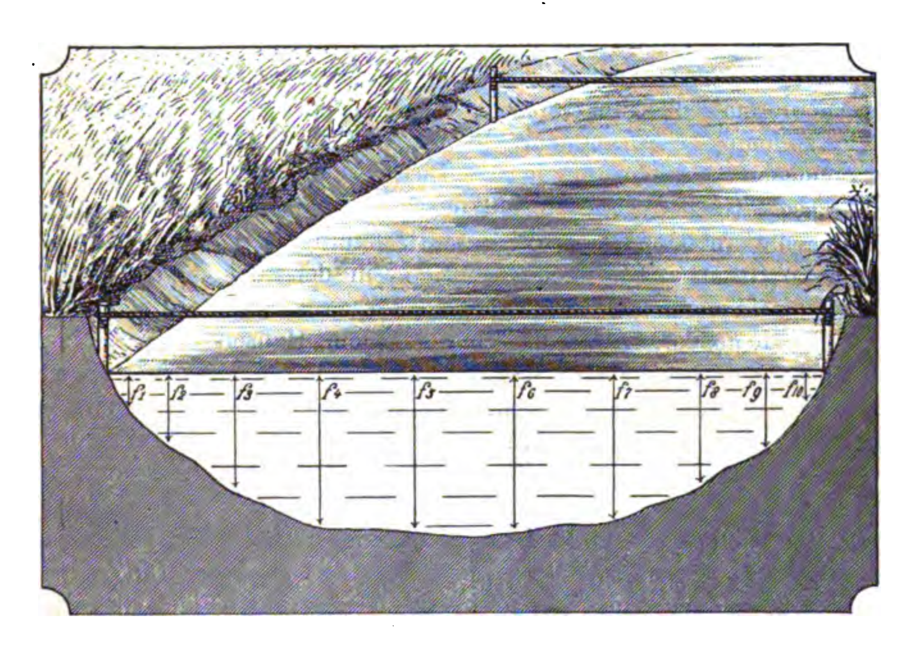


Abb. 14. *Einteilung des Profils in ungleich breite Felder.*

Bezeichnet man für eine Lotrechte die Oberflächengeschwindigkeit mit v_0, so ist die mittlere Geschwindigkeit in dieser Lotrechten etwa

$$v = 0{,}85\, v_0$$

und sie befindet sich um 0,55 bis 0,65 der ganzen Tiefe unterhalb des Wasserspiegels. Die Geschwindigkeit an der Sohle der Lotrechten wechselt dagegen stark zwischen 0,25 bis 0,75 v_0. Die

grösste Geschwindigkeit befindet sich (je nach dem Windeinflusse) 0,1 bis 0,3 m unter der Oberfläche.

Zur Bestimmung der mittleren Profilgeschwindigkeit v teile man den Querschnitt F in n lotrechte und ungleichbreite Teile[1]) (Abb. 14) $f_1, f_2 \ldots . f_n$ und bestimme durch Schwimmer für jeden Teil die zugehörigen mittleren Geschwindigkeiten $v_1, v_2 \ldots . v_n$, dann ist

$$v = \frac{f_1 v_1 + f_2 v_2 + \ldots . f_n v_n}{F}.$$

Die in der Sekunde abgeflossene Wassermenge in cbm wird gefunden, indem man die Wassertiefe an 6 bis 12 Stellen quer durch den Fluss — bei gleichförmigem Kanalprofil in gleichen Abständen — bei verschiedener Tiefe unter Berücksichtigung der Sohlenformation in entsprechend ungleichen Felderbreiten misst, die Tiefenmasse zusammenzählt und durch die Zahl der vorgenommenen Abstiche dividiert. Die auf diese Weise ermittelte durchschnittliche Stromtiefe mit der Breite multipliziert, ergibt den Flächeninhalt oder Wasserquerschnitt. Multipliziert man letzteren mit der Stromgeschwindigkeit in Meter in der Sekunde, so erhält man die in der Sekunde abgeflossene Wassermenge in Kubikmeter.

In folgender, von der Firma Briegleb, Hansen & Co.-Gotha aufgestellten Tabelle sind für verschiedene Materialien, aus denen die Kanalwände bestehen können und für verschiedene Querschnittsabmessungen in den Spalten II, III, IV und V Verhältniszahlen verzeichnet, die mit dem Flächeninhalte des Wasserquerschnittes in Quadratmeter und mit der durch den Schwimmer ermittelten Geschwindigkeit v multipliziert, die sekundlich durch ein beliebiges Profil hindurchgeflossene Wassermenge in Liter angeben. Die Zahlen der Spalte I zeigen das Verhältnis R zwischen dem Flächeninhalte des Wasserprofiles zu dem vom Wasser benetzten Umfange des Kanalprofiles an.

Beispiel: Die abgesteckte Strecke L sei 40 m lang, der Schwimmer habe 45 Sekunden zum Durchschwimmen derselben gebraucht. Der Kanal habe einen rechteckigen Querschnitt und eine Breite von 4 m, die Wassertiefe betrage 1,12 m.

Hier ist die Geschwindigkeit

$$v = \frac{40}{45} = 0{,}889 \text{ m in der Sekunde,}$$

---

[1]) Über Einteilung des Messprofils vergl. Kapitel III, S. 99.

R	Glatter Zement, behobeltes Holz	Rauher Zement, behauene Steine, Ziegelmauerwerk, unbehobelte Bretter	Mauerwerk aus Bruchsteinen	Erde
0,1	879	839	747	564
0,2	886	858	792	614
0,3	890	865	812	686
0 4	891	868	822	711
0,5	893	871	830	730
0,6	894	873	835	745
0,7	894	874	838	755
0,8	894	874	841	763
0,9	895	875	843	771
1,0	895	876	845	777
1,2	895	876	847	787
1,4	895	877	850	794
I	II	III	IV	V

ferner ist der Flächeninhalt des Wasserprofils

$$F = 4 \times 1{,}12 = 4{,}48 \text{ qm},$$

der benetzte Umfang

$$p = 4 + 1{,}12 + 1{,}12 = 6{,}24 \text{ m}.$$

Die Division von 4,48 durch 6,24 gibt den Wert für *R*, nämlich 0,718. Der diesem am nächsten kommende Wert der Tabelle (Sp. I) ist 0,7 auf der siebenten Zeile. Bestehen die Kanalwände aus Erde, so liefert Spalte V auf derselben Zeile die Zahl 755 und die Wassermenge beträgt

$$Q = 755 \times 0{,}889 \times 4{,}48 = \text{rd. } 3000 \text{ l in der Sekunde.}$$

Beständen aber die Kanalwände aus glattem Zement oder behobelten Brettern, so würde die Wassermenge betragen:

$$Q_1 = 894 \times 0{,}889 \times 4{,}48 = \text{rd. } 3560 \text{ l in der Sekunde.}$$

Die Versuche sind mehrmals zu wiederholen und ist aus den Einzelbeoachtungen ein Mittelwert zu bilden.

b) Hydrometrische Röhren.

Genauere Resultate als Schwimmer liefern die hydrometrischen Röhren von Pitot, Darcy und Frank.

Die hydrometrische Röhre, mit deren Verbesserung sich die mechanischen Institute von Falter & Sohn in München und J. Amsler Laffon & Sohn in Schaffhausen befassen, gibt nicht eine mittlere Geschwindigkeit, sondern einen Augenblickszustand der Wasserströmung in einer Lotrechten an. Sie hat den Zweck, die mittlere Geschwindigkeit einer Stromvertikalen mit einer einzigen Beobachtung zu bestimmen und beruht auf dem Prinzip der Messung des mittleren hydraulischen Druckes.

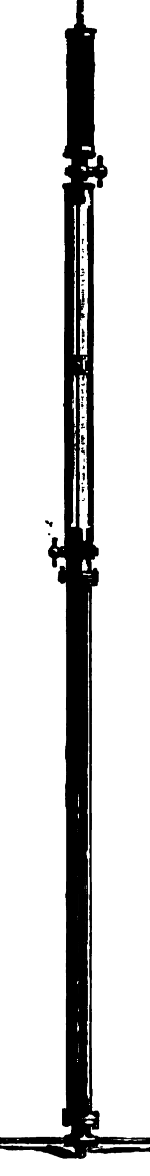


Abb. 15. *Hydrometrische Röhre von Amsler Laffon.*

Das Instrument eignet sich zum Messen der Strömungsgeschwindigkeit dicht an der Oberfläche oder an der Sohle eines Gewässers oder über einem Stauwehr; man kann dasselbe auch so ausführen, dass es zum Messen der Wassergeschwindigkeit an verschiedenen Punkten eines Rohrquerschnittes dient, wozu allerdings ein besonders konstruiertes Rohrstück nötig ist, in dem die Röhre wasserdicht gleiten kann. Da die hydrometrische Röhre keinen Mechanismus enthält, ist sie viel weniger Störungen ausgesetzt als der Flügel; selbst wenn die Düsen zum grossen Teil verstopft sind, zeigt das Instrument, wenngleich langsamer, so doch richtig an. Andererseits ist aber die Beobachtung mit der Röhre wegen der beständigen Geschwindigkeitsschwankung schwieriger und mehr der Willkür des Beobachters unterstellt. Eine Uhr braucht man bei diesem Instrument nicht. Es besteht dem Prinzip nach aus zwei nebeneinander liegenden Röhren, die oben verbunden sind, während sie unten offen stehen und im rechten Winkel so abgebogen sind, dass die beiden Öffnungen voneinander abstehen. Taucht man das Instrument ins Wasser, die abgebogenen Röhrenenden in der Strömungsrichtung, so steigt das Wasser im stromaufwärtsliegenden Rohr höher an als im stromabwärts gerichteten. Stünde

das Wasser still, so würde der Spiegel in beiden Röhren gleich hoch sein. Die Zuflussgeschwindigkeit übt aber auf die Wassersäule im oberen Rohr eine Stosswirkung aus und treibt sie in die Höhe, während im unteren Rohr eine Saugwirkung stattfindet, die den Wasserspiegel in diesem senkt. Der Höhenunterschied der Wassersäulen in den beiden Röhren ist das Mass der Wassergeschwindigkeit und porportional derselben. Um diese zu bestimmen, hat man nur den Unterschied der Wasserstände in den beiden Röhren zu beobachten und die entsprechende Wassergeschwindigkeit aus einer dem Amslerschen Instrument beigegebenen Formel zu berechnen oder aus einer Tabelle zu entnehmen.



Abb. 16. *Hydrometrische Röhre von A. Frank (Falter & Sohn).*

Die Strömungsgeschwindigkeit v in der Sekunde ergibt sich beim Amslerschen Instrument aus der Formel

$$v = 0{,}14 \sqrt{h_2 - h_1}$$

wobei h_2 bezw. h_1 die Höhen der Wasserstände in den beiden Glasröhren, in Millimeter ausgedrückt, bedeuten.

Die Instrumente von Falter & Sohn lassen die Wassergeschwindigkeit unmittelbar an einer Skala des Schwimmers ablesen.

Die Röhren, welche die beiden Wassersäulen enthalten, bestehen aus mehreren übereinander gesetzten Stücken. Das unterste ist ein Fuss mit zwei feinen Düsen, welche die zwei abgebogenen Enden der Röhren darstellen. Oberhalb des Fusses befindet sich ein 1 m langes Doppelrohr (Abb. 15) auf das man nach Bedarf bei grossen Tiefen noch eine weitere Doppelröhre setzen kann. Den Abschluss bildet ein Doppelrohr aus Glas, das in einem geschlitzten Messingrohr mit Schiebvisier eingeschlossen ist. Durch Drehen eines Hahnes kann man die Glasröhren von der Fortsetzung nach unten absperren. Oberhalb der Glasröhren befindet sich eine kleine Handpumpe, mit der man die beiden Wassersäulen in bequeme Höhe bringen kann. Sobald die Wassersäulen sich gleichbleibend in den Glasröhren eingestellt, die Schwankungen sich ausgeglichen

haben, wird der Hahn geschlossen, das Instrument in Ablesehöhe gebracht, das Schiebvisier nacheinander auf die Oberflächen der beiden Wasserspiegel eingestellt und der Stand an der Millimeterteilung, die sich aussen am geschlitzten Rohr befindet, abgelesen.

Bei A. Franks hydrometrischer Röhre, von Falter & Sohn in München, bildet sich in dem gelochten Rohre R_1 (Abb. 16), sobald dasselbe mit den Löchern dem Strome entgegengestellt wird, der mittlere hydraulische Druck und bewirkt das Aufsteigen des Wassers im Innern der Röhre über den äusseren Wasserspiegel um eine gewisse Höhe, welche dem mittleren Geschwindigkeitsdrucke entspricht. Dieselbe wird in dem Manometer gemessen, in welches beide Wasserspiegel, der innere und der äussere, in die Höhe gezogen werden, so dass ihre Differenz, unmittelbar als Geschwindigkeit ausgedrückt, ablesbar wird. Das an den Rohren zu befestigende Manometer gestattet eine direkte Ablesung von 0,1 bis 2,2 m in der Sekunde; Manometer für Geschwindigkeiten bis zu und über 3 m in der Sekunde sind mittels Dreifuss (Abb. 17) und verlängerten Schläuchen seitlich aufzustellen. Die Einrichtung von Frank's Röhre ist folgende:

Auf dem gelochten Rohre R_1 lässt sich ein kurzes Rohrstück R_2 verschieben, welches an seinem unteren Ende gegen S durch eine Stopfbüchse gedichtet ist, dasselbe wird nach Einstellen des Instrumentes in den Strom mittels der Schubstange i und deren Klemmen so gestellt, dass die Stopfbüchse noch 8—10 cm unter den Wasserspiegel kommt. Ein den Löchern genau gegenüber gebrachtes Steuerruder W sorgt dafür, dass die Löcher stets dem Strome entgegengerichtet sind. Das nun im Innern von R_1 über den äusseren Wasserspiegel aufsteigende Wasser tritt durch die Löcher von R_1 in den Zwischenraum zwischen dem gelochten Rohre R_1 und der Schubhülse R_2 und in das mit diesem kommunizierende Röhrchen R_3. Dem letzteren gegenüber ist ein in seinem unteren Ende geschlitztes Röhrchen R_4 angeordnet, in welchem sich das Wasser auf die Höhe des äusseren Wasserspiegels einstellt. Die beiden Wasserspiegel in R_3 und R_4, der hydrodynamische und der hydrostatische, werden nun durch Aussaugen der Luft aus dem Manometer bei L und durch die beiden Schläuche in das letztere in die Höhe gezogen und ihre Differenz hier messbar.

Das Manometer besteht aus zwei ineinander gesteckten Glasröhren, deren innere mit dem Schlauch R_3 in Verbindung steht,

während die äussere bezw. der Zwischenraum zwischen beiden durch den Schlauch R_4 in Verbindung gebracht wird. In der inneren Glasröhre befindet sich ein Schwimmer mit Skala. Derselbe ist so belastet, dass der oben liegende Nullpunkt der Skala genau mit dem Wasserspiegel zusammenfällt. Der Schwimmer geht nun nach Emporziehen der beiden Wasserspiegel mittels einer Handsaugpumpe mit dem inneren (höheren) und macht dessen Schwankungen mit, während der äussere tiefere Wasserspiegel an der Skala die Differenz beider Wasserspiegel bezw. die mittlere Geschwindigkeit anzeigt. Selbstverständlich muss hierbei durch Aussaugen oder Einlassen von Luft mittels des Hahnes oder Manometers dafür gesorgt werden, dass der Schwimmer weder unten aufsitzt, noch oben ansteht, sondern frei schwimmt.

Die Anordnung des Manometers mit schwimmender Skala hat den wesentlichen Vorteil, dass nur ein Wasserspiegel, nämlich der äussere, beobachtet zu werden braucht; der Beobachter kann infolgedessen seine ganze Aufmerksamkeit diesem zuwenden und die Schwankungen desselben leicht verfolgen und ausmitteln.

Abb. 17. *Dreifuss.*

Gegenüber dem Flügel bieten sich die Vorteile, dass die Beobachtung der Zeit und die hieraus entspringenden Fehler wegfallen, die einmal durch Prüfung des Instrumentes bestimmte Konstante bezw. dessen Skala bleibt unverändert, da sich keine beweglichen der Veränderung oder Abnutzung unterworfenen Teile an ihm befinden. Die Messung geht rascher von statten als beim Flügel, einmal, weil jede Rechnung entfällt, da das Instrument sofort die mittlere Geschwindigkeit angibt, ferner, weil mit dem Flügel entsprechend mehr Einzelbeobachtungen in den verschiedenen Tiefen zu machen sind, während mit der Röhre immer nur eine Beobachtung notwendig ist, gleichviel, wie gross die Tiefe ist. Sämtliche Instrumente gestatten auch Messungen bei geringen Wassertiefen. Die Skalenbestimmung wird durch Rechnung und Vergleichung mit geprüften Normalinstrumenten ausgeführt. Das Reinigen des Manometers kann mit Leichtigkeit nach Herausschrauben der inneren Röhre vorgenommen werden.

Wird die Messung vom Schiffe aus vorgenommen, so bedient man sich zweier Arten von Aufhängung; entweder lässt man das Manometer frei innerhalb eines Zwischenringes schweben bezw. sich infolge seines Eigengewichtes von selbst in die Vertikale einstellen (wegen der schwankenden Bewegung des Bootes), oder man stellt das Instrument seitlich am Ufer auf, wobei die Schläuche nach dem Instrument herabgehen (Fig. 18). Bezüglich der Schwankungen des Wasserspiegels im Manometer bei stark bewegtem Stromlauf leistet der Quetschhahn (nach Vorschlag von Prof. Schmidt) vorzügliche Dienste. In der Praxis hat sich noch ergeben, dass es besser ist, wenn der obere Schlauch, welcher das Manometer mit der Saugpumpe verbindet, aus dickwandigem Gummi besteht, dass die äussere Luft beim Heraufziehen der Wassersäule den Schlauch nicht zusammendrückt und auf diese Weise das Arbeiten mit der Pumpe recht erschwert. Die Handhabung des Apparates erfordert einige Geschicklichkeit, besonders muss man beim Gebrauch jede Undichtigkeit zu beseitigen wissen.

Die Messungen an grösseren Flüssen können nur von Schiffen aus erfolgen und zwar werden hierbei zwei Zillen mit geringem Abstand gekuppelt. Bei derartigen Messungen hat es sich als notwendig herausgestellt, die Schubröhre *A* mit dem Schiffspodium fest zu verbinden in der Weise, dass sie sich nur noch um die vertikale Achse dreht. Die gelochte Röhre *B* kann dann nach Bedürfnis leicht vertikal verschoben werden und stellt sich mittels des Steuers *E* von selbst ein.

Wenn Geschwindigkeiten bis 4 m gemessen werden, tritt eine ausserordentliche Beanspruchung sowohl des Schubrohres *A* als auch des Rohres *B* ein, der Messingrohre nicht gewachsen sind. Es wären somit für die Rohre *B* bei über 4 m Länge 50 mm starke Stahlrohre und für das Schubrohr *A* ebenfalls ein starkes Stahlrohr anzunehmen. Vor Beginn der Messung wird das Schubrohr *A* bei dem gelochten Ring a_2 in den Stift c_2 eingehängt, dann mit dem gelochten Ring a_1 in die Aussparung eingefahren und endlich a_1 mit c_1 durch einen Stift verbunden.

Unter anderm hat Professor Golownin an der Kaiserlichen Ingenieurschule in Moskau mit diesem Apparat eine grössere Reihe interessanter Versuche in russischen Flüssen mit bestem Erfolg vorgenommen.

An Frank's hydrometrischer Röhre sind durch Falter & Sohn einige wesentliche Verbesserungen angebracht worden: der untere

Hahn am Manometer ist zum Herausschrauben eingerichtet, um die Glasrohre reinigen zu können; der obere Hahn hat ein schräggebohrtes Loch erhalten, um bei Drehung stets eine intakte Dichtung im Gehäuse zu erzielen; durch Eindringen von Sand könnte am Reiber eine undichte Oberfläche erzeugt werden.

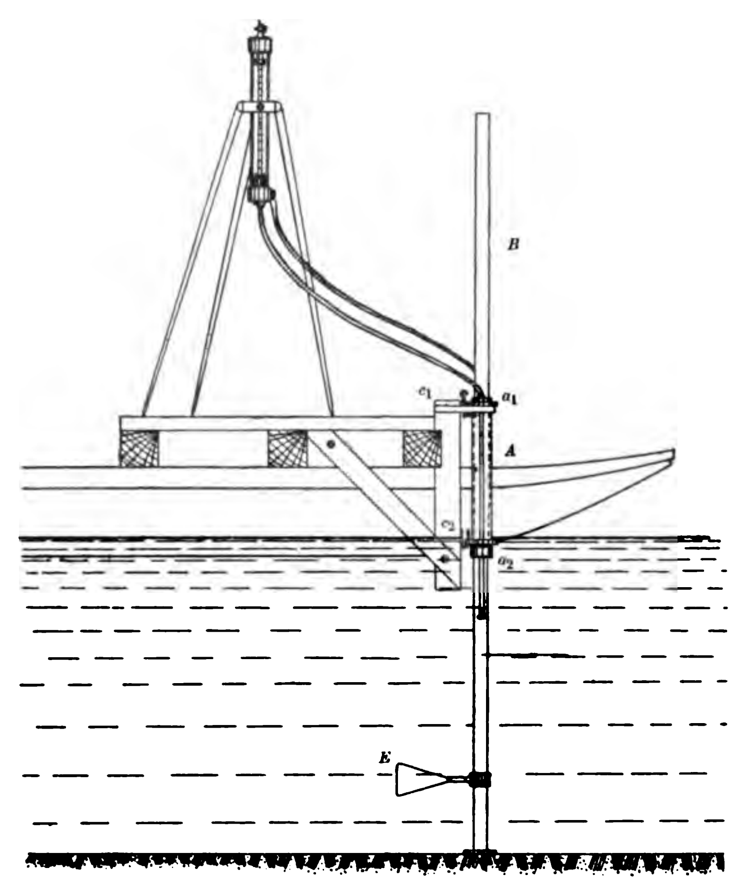


Abb. 18. *Messung mittels hydrometrischer Röhre vom Schiffe aus.*

Es ist nicht zu leugnen, dass, wenn die hydrometrische Röhre in Hände gelangt, die damit nicht umzugehen verstehen, ein vorschnelles und ungünstiges Urteil gefällt werden kann, allein dieser Umstand, welcher bei vielen Messgeräten, die für Techniker bestimmt sind, zutrifft, darf hier nicht massgebend sein. Hervorzuheben ist jedoch, dass die Benutzung der hydrometrischen Röhre,

wegen der engen Teilung an der Skala für geringe Geschwindigkeiten, sich nur bei grösseren Wassergeschwindigkeiten empfehlen dürfte.

Die Mängel der hydrometrischen Röhren bestehen hauptsächlich in der starken Oszillation der Wassersäulen in den Beobachtungsröhrchen (Glasröhrchen), sowie in der kurzen Skala, die eine genauere Einteilung, besonders bei kleinen Wassergeschwindigkeiten und demzufolge geringer Differenz der Werte der Spiegelhöhen in denselben nicht zulässt.

Das Instrument liesse sich etwa in der Weise verbessern, dass die Wasserspiegeldifferenzen durch eine geeignete Übertragung, wobei die Höhenunterschiede in den Beobachtungsröhren stärker hervortreten, eine ausgedehnte Skala zulassen. Die meisten Schwierigkeiten macht wohl die Tarierung des Instrumentes, weshalb es sich von seiten der Hydrotechniker vorerst keiner besonderen Bevorzugung erfreut.

Die Pitotsche Röhre lässt sich nach Ausführungen von J. Amsler in Schaffhausen auch zum Messen des Gefälles auf kurze Strecken bezw. von Niveaudifferenzen der Wasserspiegel verwenden, indem man an die beiden Düsen des Instrumentes zwei Röhrchen anschliesst und deren freie Enden an den beiden Stellen des Gewässers eintaucht, zwischen denen das Gefälle gemessen werden soll.

Die Röhrchen endigen in Glocken, die auf die Flusssohle gestellt werden, die Flüssigkeitssäule erleidet deshalb durch Wellenbewegungen des Flusslaufes keine Schwankung, wodurch deren Höhenstand genau abgelesen werden kann. In dieser Weise sollen sich Wasserspiegelgefälle auf 15 m Länge bis zu Bruchteilen eines Millimeters bestimmen lassen. (Vergl. S. 117.)

---

c) Hydrometrische Flügel.

Die genaueste Bestimmung der Wassergeschwindigkeit in offenen Wasserläufen erreicht man mit Woltmanns hydrometrischem Flügel, welcher einerseits aus den für jedes Instrument durch Aichung bestimmten Flügelgleichungen, andererseits aus den unmittelbar beobachteten Umdrehungszahlen die Werte der Wassergeschwindigkeit berechnen lässt.

Die überaus grosse Verschiedenheit der Gewässer, sowohl was Geschwindigkeit als Tiefe anbelangt, bedingt verschiedene Konstruktionen, denen allerdings ausnahmslos das vom Wasser getriebene, mit schraubenförmigen Schaufeln versehene Flügelrad als Messvorrichtung gemeinsam ist. Bei Benutzung eines hydrometrischen Flügels ist in Betracht zu ziehen, für welche Wassergeschwindigkeiten und Tiefen derselbe Verwendung findet, woraus sich dann bis zu einem gewissem Grade ergibt, ob derselbe mit der immer mehr in Gebrauch kommenden elektrischen Signalvorrichtung (System Amsler) versehen sein soll, oder ob die älteren Konstruktionen mit Zählscheiben (Woltmannsche Flügel) genügende Dienste leisten.

Während das erste System unter allen Bedingungen mit Vorteil angewendet wird, werden letztere hauptsächlich bei geringen Tiefen und Geschwindigkeiten an leicht zugänglichen Orten gebraucht, da unter diesen Umständen der Zeitverlust nicht so sehr ins Gewicht fällt, der durch das nach jeder Beobachtung nötige Herausnehmen des Instrumentes aus dem Wasser veranlasst ist.

Der hydrometrische Flügel in seiner gegenwärtig gebräuchlichen Form besteht aus einem Flügel- oder Schaufelrad mit zwei bis fünf nach Schraubenflächen gekrümmten Schaufeln. Dieses Schaufelrad ist mit einer wagerecht gelagerten Welle verbunden, welche mittels einer Schneckenschraube in ein zum Ablesen der Umlaufzahlen dienendes Zählwerk eingreift.

Wird das den Flügel mit Zählwerk tragende Gestell derart in fliessendes Wasser gebracht, dass die Flügelwelle in die Richtung der Wasserfäden zu liegen kommt, so wird das Schaufelrad durch den Druck der an den Schraubenflächen hingleitenden Wasserteilchen in Umdrehung versetzt.

Die Wassergeschwindigkeit an der Beobachtungsstelle lässt sich aus der Zahl dieser Umdrehungen während einer bestimmten Zeitdauer berechnen, wenn die mathematische Beziehung zwischen dieser Geschwindigkeit v und den Umlaufzahlen u des Flügelrades in der Zeit t bekannt ist. Für die Flügelgleichung wird vielfach die nur annäherungsweise richtige lineare Form gewählt:

$$v = \alpha + \beta \cdot n$$

worin β die Schraubenganghöhe des Schaufelrades, $n = \frac{u}{t}$ die auf die Zeiteinheit treffende Umlaufzahl der Schaufel und α diejenige kleine Wassergeschwindigkeit bezeichnet, bei welcher sich

infolge von auftretenden Reibungswiderständen der Flügel nicht mehr dreht.

Beim Gebrauch des **hydrometrischen Flügels mit mechanischem Zählwerk** wird folgendermassen verfahren:

Das Instrument (Abb. 19) wird auf eine Stange von 25 mm Dicke ($^3/_4$" engl. Gasrohr, das an einem Ende das übliche Gewinde hat) mittels der Druckschrauben C_1 und C_2 geklemmt und eine Schnur an der Öse *T* am Ausrückhebel *F* eingehängt. Bei dieser Art der Befestigung ist die Ausrückschnur der Strömung ausgesetzt, sie eignet sich daher nur für Gewässer von geringer Tiefe und mässiger Geschwindigkeit. Um die störende Wirkung der Strömung auf die Zugschnur zu vermeiden, benutzt man den Fuss *A* der in die Hülse *B* zu liegen kommt.

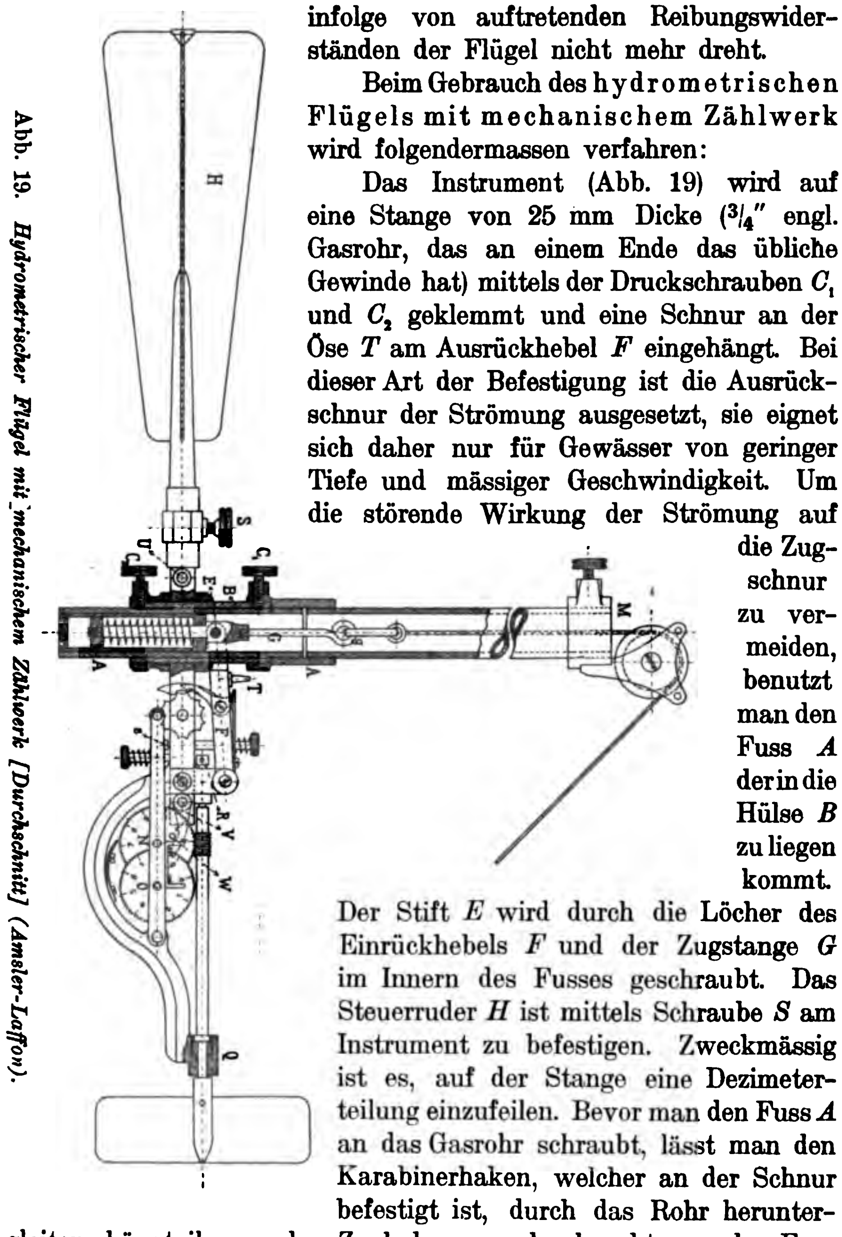


Abb. 19. *Hydrometrischer Flügel mit mechanischem Zählwerk [Durchschnitt] (Amsler-Laffon).*

Der Stift *E* wird durch die Löcher des Einrückhebels *F* und der Zugstange *G* im Innern des Fusses geschraubt. Das Steuerruder *H* ist mittels Schraube *S* am Instrument zu befestigen. Zweckmässig ist es, auf der Stange eine Dezimeterteilung einzufeilen. Bevor man den Fuss *A* an das Gasrohr schraubt, lässt man den Karabinerhaken, welcher an der Schnur befestigt ist, durch das Rohr heruntergleiten, hängt ihn an den Zughaken *g* und schraubt nun den Fuss an das Gasrohr. Dem Instrument von Amsler-Laffon-Schaffhausen sind drei Ringe beigegeben.

1. Ring K dient zur Fixierung der Tiefe des Flügels unter Wasser. Man stellt den Ring entweder so, dass er die Wasseroberfläche berührt oder auf einer festen Unterlage aufsitzt.

2. Ring L dient zur Beurteilung der richtigen Lage der Flügelachse zur Wasserrichtung beim Messen in trübem oder sehr tiefem Wasser. Er wird so auf das Rohr geklemmt, dass die Visierkante entweder parallel oder senkrecht zur Flügelachse steht.

3. Ring M mit Schnurlauf dient zur Führung der Ausrückschnur. Um das Zählwerk aus- oder einzuschalten, zieht man an der Schnur mit einem scharfen Ruck und lässt sie wieder los. Die bis 100 gehende Teilung des Rades N gibt die einzelnen Umdrehungen der Flügelachse, das Rad O die Umdrehungen des Rades N an. Die Flügelachse ruht auf der einen Seite im Antifriktionslager Q, in das andere Ende

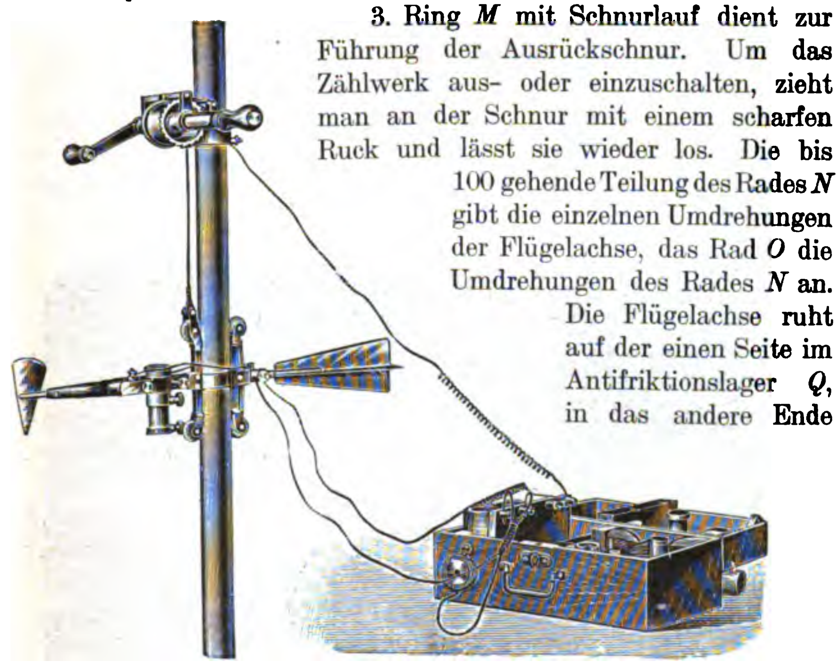


Abb. 20. *Hydrometrischer Flügel mit elektrischer Zeichengebung und Telephon (Amsler-Laffon).*

greift die Spitze der Schraube R ein. Diese letztere soll so reguliert sein, dass die Flügelachse in der Längsrichtung ziemlich viel Spiel hat. Aus dem Stande der Zählscheiben N und O zu Anfang und Ende der Beobachtung ergibt sich die Umdrehungszahl des Flügels. Dividiert man diese mit der Anzahl Sekunden, während welcher die Beobachtung gedauert hat, so erhält man die in nachstehender Formel mit n bezeichnete Zahl. Hat man z. B. während 60 Sekunden 254 Umdrehungen des Flügels beobachtet, so ist

$$n = \frac{254}{60} = 4{,}23.$$

Lautet die Formel für die Konstanten des Instrumentes

$$v = 0{,}018 + 0{,}229 \cdot n$$

so ergibt sich als Wassergeschwindigkeit

$$v = 0{,}986 \text{ m in der Sekunde.}$$

Die Formeln sind für verschiedene Instrumente verschieden; die genauen Gleichungen werden bei jedem Instrument auf Grund besonderer Aichung ermittelt.

Diejenigen hydrometrischen Apparate, bei denen der Zähler nicht eingeschlossen, sondern der Strömung ausgesetzt ist, haben den Nachteil, dass im Wasser schwimmende Pflanzen daran hängen bleiben und dadurch einzelne Beobachtungen unbrauchbar gemacht werden; dagegen besitzt ein solches Instrument den Vorteil, dass Sand oder Schlamm stets aus dem Zählwerk fortgewaschen wird und deshalb weniger leicht Störungen eintreten.



Abb. 21. *Flügel-Aufhängung von J. Amsler-Laffon.*

Bei ganz grossen Strömen, z. B. Elbe und Weichsel, verwendet J. Amsler-Schaffhausen zu den Strommessungen eine Universal-Aufhängevorrichtung für den Flügel (eine sich geometrisch ähnlich bleibende Drahtaufhängung), mit der man von zwei Schiffen aus das ganze Flussprofil durchmessen kann.

Die Drähte, an denen das Instrument hängt, werden durch ein Gewinde mit konischem Räderantrieb gehoben oder gesenkt, dabei

verschieben sich die Aufhängepunkte der Drähte derart, dass die Drahtrichtungen stets gleich bleiben. Ein Teil der Drähte dient gleichzeitig zur Leitung des elektrischen Stromes, welcher einen Zähler antreibt, der nach dem Prinzip des phonischen Rades konstruiert ist. Der Zähler arbeitet mit jeder Geschwindigkeit und läuft vorwärts oder rückwärts, je nach der Drehrichtung des Flügels.

Abb. 21 ist nach einem Modell des mehrfach ausgeführten Apparates angefertigt.

Die von Ertel & Sohn in München hergestellten Flügel zeichnen sich durch besonders einfache und gefällige Form aus.

Um das Zählwerk derselben auf die Ablesung Null stellen und den Mechanismus im Inneren des Gehäuses zum Zwecke der Reinerhaltung leichter besichtigen zu können, ist der obere Teil des Gehäuses samt der Flügelwelle zum Aufklappen eingerichtet. Damit ferner das Flügelrad bei Messungen in schnell fliessendem Wasser schon vor dem Einrücken des Zählwerkes umlaufen und die ihm zukommende Bewegung annehmen kann, ist die Einrichtung getroffen, dass das Schaufelrad lediglich durch Reibung auf dem am Kopfe der Welle angebrachten Konus festgehalten wird und sich im fliessenden Wasser dreht, ohne die Welle und das Zählwerk mitzunehmen. (Abb. 22.)

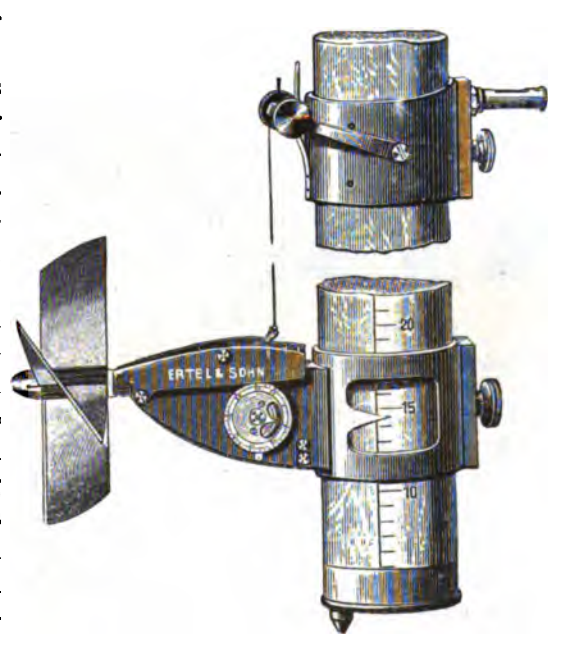


Abb. 22. *Flügel von Ertel & Sohn.*

Die an der Hülse der Auslösevorrichtung parallel zur Flügelwelle angebrachte Röhrenlibelle dient dazu, der Flügelachse während der Messung eine horizontale Lage einzuweisen. Auch bei diesen Instrumenten lässt sich das Flügelzählwerk mit einem elektrischen Kontakt versehen und durch eine elektrische Strom-

leitung mit der Signalglocke verbinden. Die drei als Schraubenflächen geformten Schaufeln des Flügels sind aus Aluminium, haben einen äusseren Durchmesser von 13 cm und eine Breite von 28 mm. Der Flügel gibt mittels Differentialrädern 1200 Umdrehungen auf halben Umgang noch ablesbar an und eignet sich für Geschwindigkeiten von 7 cm bis zu 2 m in der Sekunde. Die Auslösung des Zählwerks geschieht durch Druck auf eine Feder. Die hölzerne Stange von elliptischem Querschnitt ist von $^1/_2$ zu $^1/_2$ dm geteilt. Das Instrument ist ohne Steuer.

Eine kleine Abänderung des Flügels zeigen die Abb. 23 und 24. Aus Abb. 23 (Ansicht von oben) ist ersichtlich, dass jede Aufstauung des Wassers vermieden wird. Abb. 24 gibt die Vorderansicht.

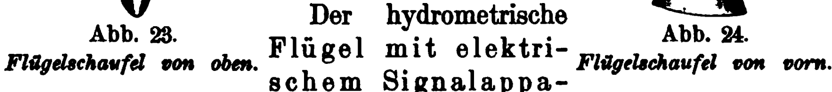


Abb. 23.
Flügelschaufel von oben.

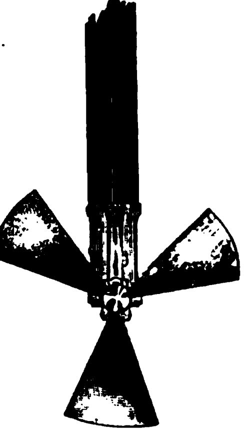


Abb. 24.
Flügelschaufel von vorn.

Der hydrometrische Flügel mit elektrischem Signalapparat (Abb. 25) ohne mechanisches Zählwerk ist in ähnlicher Weise zu handhaben. Eine der Klemmen auf der hinteren Seite des Brettchens, an welchem Batterie und Klingel befestigt sind, wird durch einen Leitungsdraht mit der Klemme am Visierring *L*, die andere Klemme durch einen zweiten Leitungsdraht mit der Klemme *V* am Flügel verbunden. Die Stange, auf welche der Flügel gesteckt ist, bildet einen Teil des Stromkreises.

Je nach 50 Touren der Flügelachse wird im Innern des Instrumentes durch einen Kontakt der Stromkreis geschlossen und es erfolgt ein Glockenzeichen.

Um eine Messung vorzunehmen, beobachtet man auf einer Sekundenuhr den Augenblick, in welchem nach Beginn eines Signales die Glocke aufhört zu klingeln und sodann den Augenblick des Aufhörens des nächsten Klingelns. Man notiert die Zeiten, in denen die Signale eintreten, oder besser die Momente, in denen das Klingeln aufhört (so dass der Beginn das Herannahen des

Beobachtungsmomentes signalisiert). Bedeutet t die Anzahl Sekunden, die der Flügel für 50 Umdrehungen braucht, so gelten zur Berechnung der Wassergeschwindigkeit folgende Gleichungen

$$v = \frac{11,30}{t} \quad \text{wenn } t \text{ kleiner als 25 ist;}$$

$$v = 0,030 + \frac{10,55}{t} \quad \text{wenn } t \text{ grösser als 25 ist.}$$

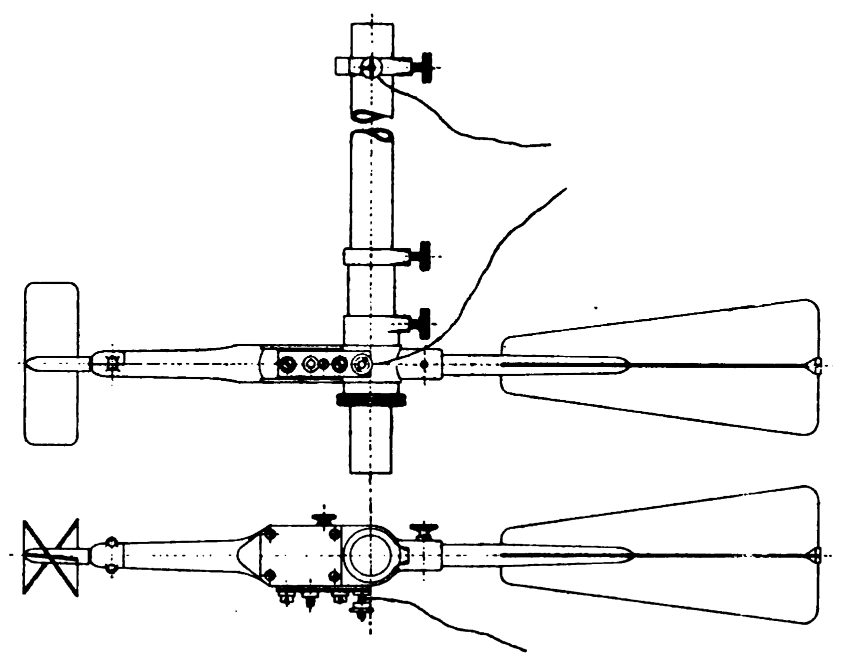


Abb. 25. *Elektrischer Flügel (Amsler-Laffon).*

Die genauen Formeln sind jedem Instrument beigegeben. Bei grossen Wassergeschwindigkeiten, wo die Signale rasch aufeinanderfolgen, ist es ratsam, die Zeit zwischen mehreren Glockensignalen abzuwarten.

Einen Universalflügel, sowohl mit elektrischer Einrichtung wie mit mechanischem Zählwerk und kontinuierlicher Ein- und Ausrückvorrichtung, Kontakte für einzelne und je 25 Umdrehungen stellt Abb. 26 dar. Das Zählwerk und die Kontaktkammer sind durch Mantel mit Glaseinsatz geschützt. Das Instrument lässt sich mit und ohne Batterie gebrauchen. Zu demselben gehören verschiedene Ergänzungen und Nebenapparate:

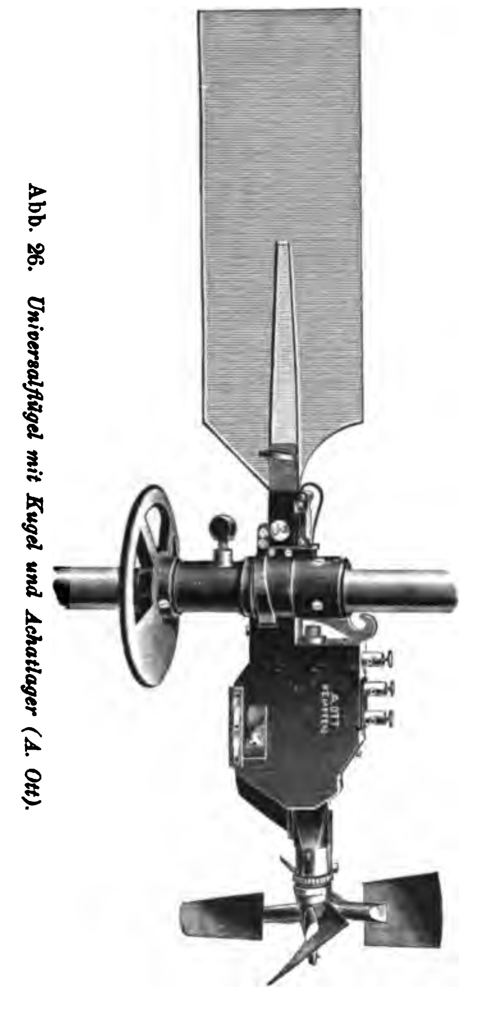


Abb. 26. *Universalflügel mit Kugel und Achatlager (A. Ott).*

1 Batterie von vier Trockenelementen und Signalglocke,
1 Tourenzähler für Einzelumdrehungen bis 1000,
1 Schalttelephon zum Zählen der Einzelumdrehungen bei sehr langsamem Wasser oder zur Kontrolle des Flügelganges überhaupt,
1 Chronoskop $^1/_5$ Sekunde angebend,
1 Trommel zum Aufwickeln des Kabels,
1 Uhrwerk zur Regulierung der Vertikalbewegung beim Integrieren.

Einen elektrischen Flügel grösster Gattung (Integrator) mit torpedoförmiger Kontaktkammer für einzelne und je 20 Umdrehungen, Kugel- und Achatlager, zwei-, drei- oder vierteiliger Schaufel von 1 m oder 0,5 m Steigung und 25 cm Durchmesser zeigt Abb. 27.

Der Führungskörper ist zwecks leichten Gleitens mit Laufrollen versehen. An der Grundscheibe des Führungskörpers ist ein Taster angebracht, der ein Signal veranlasst, sobald das Instrument die Flusssohle bezw. die Grundscheibe der Stange berührt.

Für einfachere Ausstattung sind die vorgeschriebenen Nebenapparate nötig, ferner noch eine Uhr zur selbsttätigen Unterbrechung der elektrischen Leitung nach einer bestimmten Zeitdauer. Durch Bewegen eines Hebels an der Uhr wird ein elektrischer Strom geschlossen und der Tourenzähler für die Flügelumdrehungen in Tätigkeit gesetzt.

Nach 100 oder 200 Sekunden unterbricht die Uhr den Strom

selbsttätig, der Tourenzähler steht still, eine elektrische Glocke gibt das Signal zur Ablesung desselben. Einige Typen sind derart eingerichtet, dass der Torpedokörper abgenommen werden kann. Durch Einstecken in eine Aufhängung mit besonders konstruiertem Steuerruder wird ein Schwimmflügel hergestellt, der bei sehr grossen Wassergeschwindigkeiten (Hochwasser) zur Verwendung kommt.

Vorteilhaft für die Untersuchung ist es, wenn sämtliche Anzeiger vor dem Auge des leitenden Technikers sich befinden.

Bei den grossen, mit allen Hilfsmitteln ausgestatteten Apparaten werden die eigentlichen Mess- und Zählinstrumente so auf ein Brett montiert (Abb. 28), dass alle einzelnen Teile bequem zu handhaben sind und ein Beobachter alle

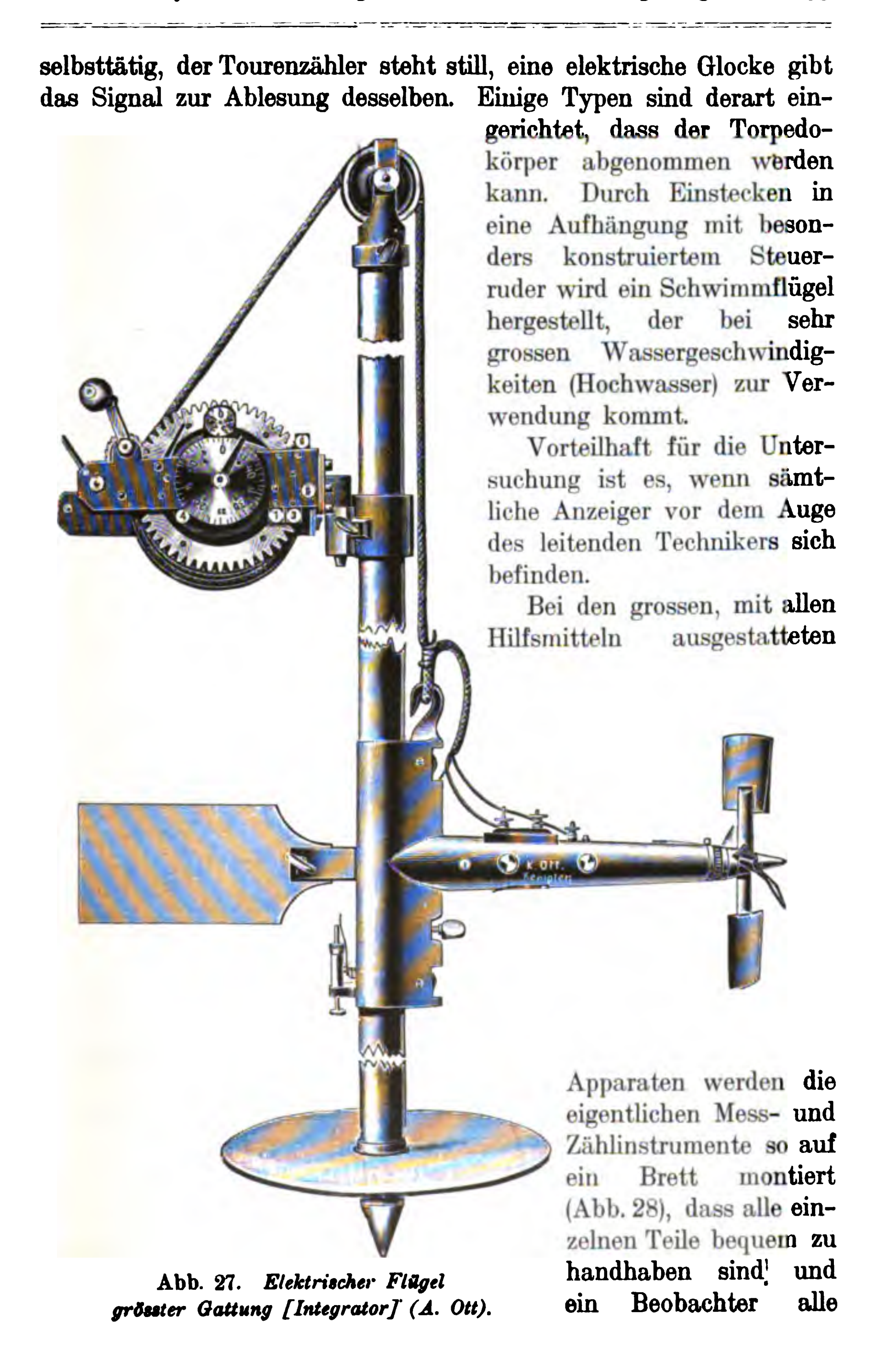


Abb. 27. *Elektrischer Flügel grösster Gattung [Integrator] (A. Ott).*

Funktionen derselben mit einem Blick übersieht. Es können z. B. auf einem Tableau vereinigt werden:

a) Uhr mit automatischer Abstellung des Stromes nach 100 oder 200 Sekunden;
b) Tourenzähler zum Zählen der Flügelumdrehungen;
c) Tourenzähler zum Beobachten der Wassertiefe (ein Teilstrich des ersten Zifferblattes = 1 cm);
d) Chronoskop;
e) Glocke zur Zeitbestimmung für 20 oder 50 Umdrehungen;
f) Glocke, die das Aufsitzen des Flügels am Grund signalisiert;
g) Glocke, die den Ablauf von je 100 oder 200 Sekunden markiert und dadurch das Zeichen zum Ablesen des Tourenzählers für die Flügelumdrehungen gibt;
h) Umschalter;
i) Klemmen zum Befestigen der Leitungsdrähte.

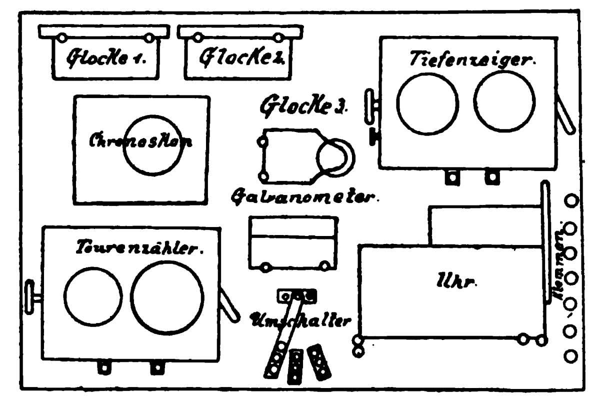


Abb. 28. *Schaltbrett mit Mess- und Zählinstrumenten.*

Der kleinste elektrische Flügel zur Bestimmung der Geschwindigkeit hart an der Flusssohle oder Uferwand besitzt ein Schaufelrad von nur 40 mm Durchmesser; er gestattet die Vornahme von Messungen in nur 6 cm Wassertiefe.

Unter den mehrfachen Verbesserungen, welche die Hydroflügel im Laufe der Zeit erfahren haben, ist vor allem die seit mehreren Jahren eingeführte Kugellagerung der Flügelachse zu erwähnen, die der Firma A. Ott in Kempten gesetzlich geschützt ist.[1]) Die Kugeln sind aus einer widerstandsfähigen Nickel-Legierung

[1]) J. Amsler-Laffon wendet seit 1886 die Lagerung der Flügelwelle auf kurzen Wälzchen aus Neusilber an.

hergestellt, ein Rosten daher ausgeschlossen. Die früher üblichen Halslager kommen allmählich ausser Gebrauch und finden nur noch Anwendung für Instrumente, die zu weniger genauen Messungen benutzt werden. Die mit Kugel- und Achatlagerung versehenen Flügel zeichnen sich durch besonders leichten Gang aus. Während bei Flügeln älterer Konstruktion der mittlere Fehler einer Messung $\pm$ 10 bis 15 mm betrug, ergibt sich derselbe für die neueren Instrumente zu nur $\pm$ 3 bis 5 mm.

Eine weitere Verbesserung, die in den letzten Jahren erfolgreich eingeführt wurde, ist die Anwendung von blanken, nahtlosen, mit aufgeschraubter Führungsleiste versehenen Stahlröhren, an Stelle der geschlitzten Gasrohre. Eine solche Stange besitzt grössere Festigkeit und kann aus mehreren Stücken zusammengesetzt werden. Die üblichen Stärken sind 26, 32, 45, in Einzelfällen bis 75 mm Durchmesser.

Für manche Zwecke ist es vorteilhaft, den Flügel in vertikaler Richtung einer Stange entlang bewegen zu können, während die Stange

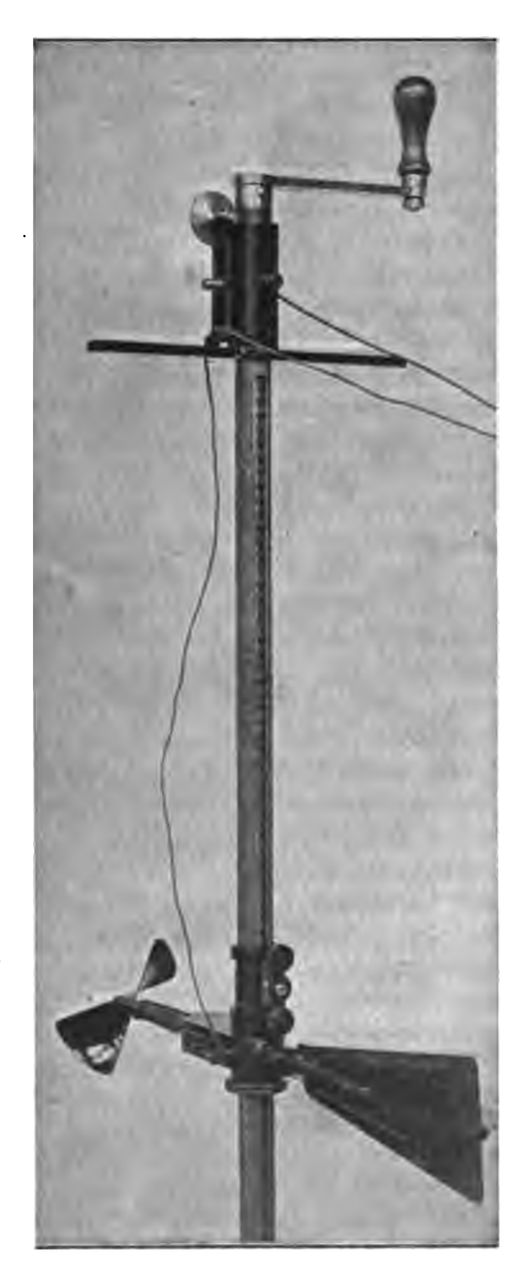


Abb. 29. *Vertikalführung System Eger (Amsler-Laffon).*

selbst auf der Sohle des Gerinnes stehen bleibt.[1]) Namentlich ist eine derartige Vorrichtung erforderlich, wenn man mit einer Messung den Mittelwert der Wassergeschwindigkeit an allen Punkten einer Lotrechten ermitteln will (Integriermethode). Dazu eignen sich die Vertikalführungen Abb. 20, 27, 29, 31.

Ein 58 mm dickes und 5 m langes Rohr steht mit einer Platte auf der Sohle des Gewässers. Das Rohr ist der ganzen

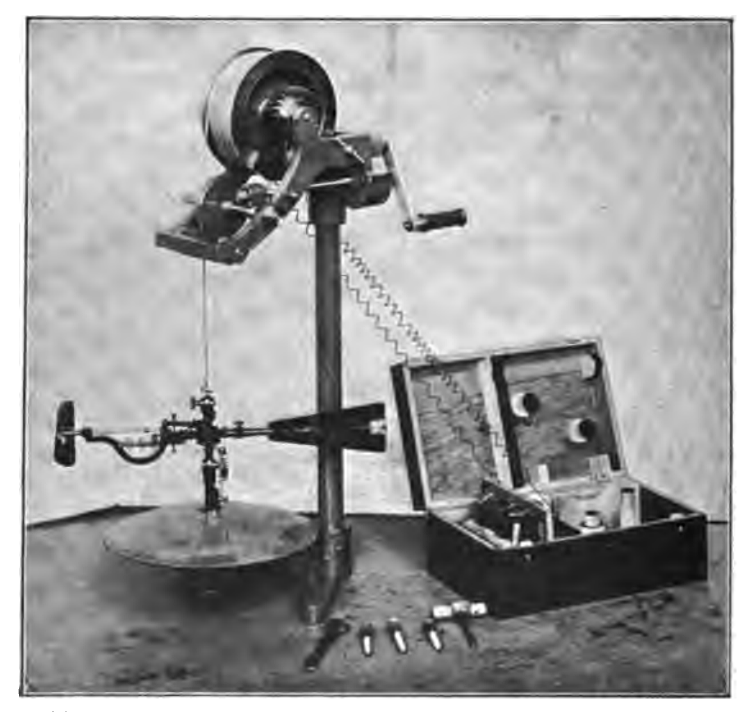


Abb. 30. *Aufhängevorrichtung mit Flügel und elektrischer Batterie (Amsler-Laffon).*

Länge nach, hinten und vorn, mit Nuten versehen, in denen die Räder eines Wagens laufen. An der stromaufwärts gerichteten Seite des Wagens ist der Flügel angesteckt, auf der anderen Seite das Steuer. Oben an der Stange ist der mit einem Handgriff zum Festhalten der Stange versehene Haspel festgeklemmt, der an einem dünnen Drahtseil aufgehängte Wagen wird mittels Handkurbel auf- und abbewegt, eine Zählvorrichtung zeigt die jeweilige Tieflage des Flügels in Zentimeter an. Das Drahtseil ist der

[1]) Eine Konstruktion, welche ebenfalls J. Amsler-Laffon vor langer Zeit zuerst ausführte.

Strömung zugekehrt und wird durch diese in die Nut der Stange gedrückt, die Vorrichtung ist infolgedessen auch bei starker Strömung anwendbar.

Abb. 20 stellt die Vertikalführung mit Flügel und elektrischer Batterie dar. Am Kästchen hängt ein Dosentelephon zum Zählen der einzelnen Flügelumdrehungen. Die Drahtverbindungen sind für Kontakte nach je 50 Umdrehungen und für Einzelkontakte dargestellt.

Die Vertikalführung, System Eger (Abb. 29), besteht aus einem fast der ganzen Länge nach geschlitzten Stahlrohr von 27 mm Dicke und etwa 3,5 m Länge, auf dem das Flügelgehäuse gleitet. Im Innern der Röhre befindet sich eine Messingschraube, in deren flaches Gewinde einige an der Gleithülse des Flügels befestigte Zähne eingreifen. Jede Drehung der Schraube hebt oder senkt den Flügel um 1 cm. Am oberen Ende des Rohres ist ein Aufsatz befestigt, der mit zwei Handgriffen zum Festhalten des Rohres, mit einem Zähler zum Anzeigen der Tieflage des Flügels und mit einer Kurbel zum Drehen der Schraube versehen ist. Die lange Messingschraube ist derart im Stahlrohr festgehalten, dass sie zu Reinigungszwecken leicht oben aus dem Rohr herausgenommen werden kann.

Zum Messen in sehr grossen und sehr tiefen Wasserläufen bedient man sich mit Vorteil der Amslerschen Aufhängevorrichtung (Abb. 30), die im wesentlichen ein Drehkran ist, den man auf einem starken Brett, das quer über zwei nebeneinander liegende Boote gelegt ist, oder auf einer Brücke über dem zu messenden Gewässer befestigt. Messungen mit diesem Apparat werden am zweckmässigsten von einem festen Standpunkt, einer Brücke, aus vorgenommen, da sich dann das Querprofil nachträglich leichter feststellen lässt, als bei Messungen vom Kahn aus, die zudem mehr oder weniger mit Gefahr verbunden sind. Der Kran ist mit einer Trommel versehen, auf der ein 40 m langes Drahtseil mit eingeschlossenem isolierten Leitungsdraht aufgewickelt ist. Am Stahldraht hängt der Flügel und unterhalb desselben ein linsenförmiges Belastungsgewicht. Dieses steckt auf dem Stiel eines Grundtasters, der bei Berührung mit der Fusssohle einen elektrischen Kontakt schliesst und den Läuteapparat zum Klingeln bringt. Man schraubt zu diesem Zweck die Hülse, die sonst zur Befestigung auf der Stange dient, aus dem Flügelgehäuse heraus und bringt an ihre Stelle ein Universalgelenk, das dem Flügel gestattet, sich allseitig frei

zu bewegen. Das Steuer hält den Flügel im Gleichgewicht und bewirkt, dass sich die Achse des Flügels beim Eintauchen ins Wasser in der Richtung der Strömung einstellt. Das Aufhängeseil und der Kranständer selbst bilden die Rückleitung des Stromkreises.

Der Kran muss so aufgestellt sein, dass wenn der Arm, der die Trommel trägt, auswärts gedreht ist, der Flügel frei ins Wasser gelassen werden kann. Innerhalb der Kurbel ist ein Zähler angebracht, der die Tauchtiefe des Flügels in Meter und Decimeter anzeigt. Die Zählscheibe lässt sich mit Reibung drehen und auf Null oder eine andere Zahl einstellen.

Der Apparat eignet sich zum Messen der Wassergeschwindigkeiten in den grössten Strömen. Bei grosser Wassergeschwindigkeit und grosser Tauchtiefe stellt sich zwar der Draht etwas schief, die Flügelachse bleibt aber doch horizontal.

Im allgemeinen sollen die Flügel so konstruiert sein, dass sich die verschiedenen Schaufeln leicht auswechseln lassen. Für gewöhnlich werden die Instrumente mittels tarierter Normalschaufeln geprüft und die Ergänzungsschaufeln mit diesen verglichen.

Die geeigneten Flügelformen lassen sich aus untenstehender Tabelle des mathematisch-mechanischen Institutes von L. Tesdorpf-Stuttgart entnehmen.

Tabelle VI.

Nummer	Für Geschwindigkeiten von 0,1—5 m	Ganghöhe der Schraubenfläche in cm	Anzahl der Schaufeln	Kreisdurchmesser des Flügelrades in cm
I	0,1—1,5	15	4	7,5
II	0,2—1,5	20	2	11
III	0,2 - 1,5	20	4	11
IV	0,1—1,5	23,5	2	20
V	0,2—2,0	30	2	15
VI	0,2—2,0	30	4	15
VII	0,3—2,5	40	2	20
VIII	0,4 - 2,5	50	2	25
IX	0,5—2,5	50	4	40
X	0,5—4,0	100	2	25
XI	0,5—4,0	100	4	25
XII	2,0—5,0	100	4	20

In letzter Zeit ist zu diesen zwölf Nummern verschiedener Dimensionen von Flügeln noch ein neuer Typus hinzugekommen. Speziell dieses Instrument hat sich für langsam fliessende Gewässer nach Versuchen von † Professor Teichmann sehr bewährt (Abb. 31).

Die älteren Woltmannschen Flügel haben bekanntlich die Einrichtung, dass sie sich selbsttätig nach der Strömungsrichtung einstellen. Zu dem Zwecke ist in der Regel das Instrument frei

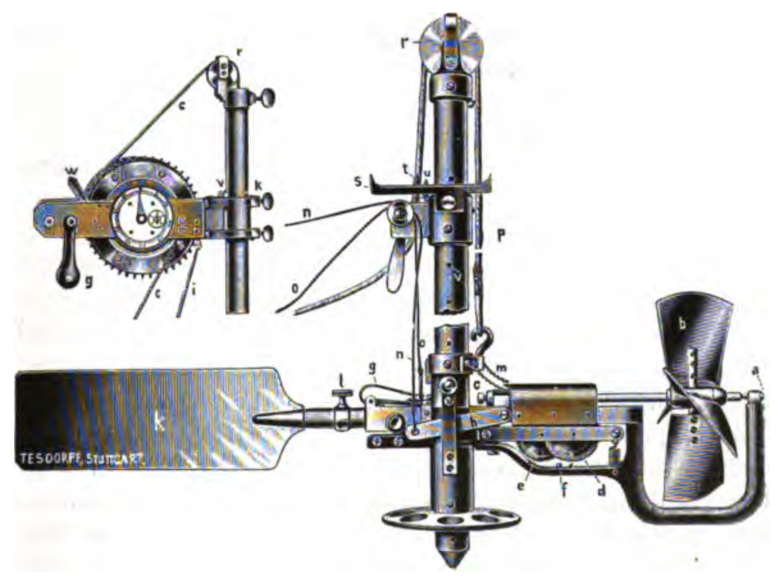


Abb. 31. *Hydrometrischer Flügel mit elektrischer Signalvorrichtung (L. Tesdorpf).*

in der Horizontalebene drehbar und mit einem Steuer versehen. Amsler-Laffon hat die Einstellbarkeit in noch vollkommenerer Weise zu erreichen gesucht, dadurch, dass er seinen an einem starken Drahte mit Gewichtsbelastung aufgehängten Flügel ausser in der Horizontalen auch in der Vertikalen beweglich machte und mit einem kegelförmigen Steuer versah, welches gleichzeitig zur Gewichtsänderung diente.[1])

Durch derartige Einrichtungen soll erreicht werden, dass die Wassergeschwindigkeit immer in der Strömungsrichtung gemessen wird, was gewiss Berechtigung hat, wenn es sich lediglich darum handelt, in einem fliessenden Gewässer die grössten vorkommenden

[1]) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1886.

Geschwindigkeiten zu ermitteln, ohne Rücksicht auf ihre Richtung. In der Regel kommt es jedoch auf die Wassermengenbestimmungen an und dann ist jede selbsttätige Einstellbarkeit des Flügels nach der Strömungsrichtung fehlerhaft, denn die Wassermenge ist das Produkt aus der Fläche und der senkrecht zu dieser gerichteten Geschwindigkeit. Dazu kommt der weitere Umstand, dass der freibewegliche Flügel infolge von Unregelmässigkeiten in der Wasserbewegung hin- und hergeschleudert wird, wodurch naturgemäss die Genauigkeit der Messungen beeinträchtigt werden muss.

Diese Umstände veranlassten Professor Harlacher auf Amslers Vorschlag, bei seinem auf einer Stange in senkrechter Richtung verschiebbaren Instrument die Einstellbarkeit aufzugeben, dafür aber die richtige Lage zum Messungsprofil durch entsprechende Führungen an der Stange und durch ein oberhalb des Messspiegels angebrachtes Visier zu sichern.[1])

Professor Frese hat nun, um über die betreffende Frage Klarheit zu gewinnen, Versuche in den Hochbehältern der „Herrenhäuser Wasserkunst" bei Hannover angestellt und die Ergebnisse in einer Sitzung des Hannoverschen Bezirksvereins deutscher Ingenieure dargelegt.

Die besprochenen Versuche zeigten, wie bereits von Professor Harlacher erkannt, dass man auch bei der Feststellung des Flügels in der Richtung senkrecht zum Messungsprofil nicht ganz von Fehlern gesichert ist, gleichzeitig aber auch, dass diese Fehler gering sind gegenüber denjenigen, welchen man bei frei beweglichem Flügel ausgesetzt ist. Ganz abgesehen nämlich von solchen Ungenauigkeiten in den Versuchsergebnissen, welche durch Hin- und Herschleudern des Instrumentes veranlasst werden, begeht man hier, indem man der Wassermengenbestimmung einen Wert v statt des richtigen $v \cos \alpha$ zugrunde legt, einen Fehler von der Grösse $v - v \cos \alpha$ oder in Prozent des wahren Wertes:

bei $\alpha =$	10^0	20^0	30^0	40^0
von	1,5	6,4	15,5	35,5 %.

α ist der Winkel, den das Instrument zur Flussachse macht. Im allgemeinen zeigte sich eine desto grössere Abweichung, je grösser der Winkel α war, ausserdem ist nicht ausgeschlossen, dass Grösse und Form der Flügelflächen bei den Abweichungen ebenfalls von Einfluss sind, die Versuche wurden nämlich nur mit einem

[1]) Harlacher: Die Messungen in der Elbe und Donau und die hydrometrischen Apparate und Methoden des Verfassers. 1881.

Instrumente durchgeführt und die Klarstellung hierüber weiteren Versuchen vorbehalten.

Die Geschwindigkeit vom Wasserspiegel bis zur Sohle muss eine stetig abnehmende sein; es ist nicht denkbar, dass die Geschwindigkeit abwechselnd zu- oder abnehme. Daher ist eine zickzack- oder auch wellenförmige Gestalt der lotrechten Geschwindigkeitskurve einzig und allein auf Beobachtungsfehler, insbesondere auf eine zu kurze Beobachtungsdauer zurückzuführen. Erst in einem längeren Zeitraume gleichen sich die Schwankungen in der Geschwindigkeit aus und erhält man eine wahre mittlere örtliche Geschwindigkeit.

Harlacher hat bei seinen hydrometrischen Arbeiten in der Elbe bei Tetschen Versuche gemacht, welche dartun, dass die Geschwindigkeitskurve — innerhalb eines kurzen Zeitraumes erhoben — wohl eine wellenförmige Gestalt haben kann, dass jedoch bei längerer Beobachtungszeit sich ein regelmässiger Verlauf, d. h. eine stetige Abnahme gegen die Sohle zu ergibt. Diese Versuche werden mit fünf an einer Stange befestigten hydrometrischen Flügeln gleichzeitig ausgeführt. Die Umdrehungen der fünf Flügel wurden auf einem mit konstanter Geschwindigkeit vom Uhrwerk eines Chronographen bewegten Papierstreifen nebeneinander registriert. Man konnte also die Geschwindigkeiten berechnen, welche in einem und demselben Zeitraume in den fünf Punkten der Lotrechten stattfanden. Es zeigte sich, dass, je länger die Beobachtungsdauer war, die Abweichungen von der stetigen Kurve immer geringer wurden.

Hydrometrischer Flügel mit Schallübertragung.

Durch den akustischen Flügel lässt sich die Beobachtung der einzelnen Umdrehungen der Schaufel und somit die pulsierende Bewegung des Wassers, sowie die in einem und demselben Punkte eines Querprofils stattfindende fortwährende Änderung der Geschwindigkeit ebenfalls genau durchführen.

Der Flügel mit Schallübertragung von C. W. Price (Abb. 32) besteht aus einem durch die Wassergeschwindigkeit in Umdrehung versetzten Becherrad, das mittels einer Schnecke ein Zählrad antreibt. Schnecke und Zählscheibe sind in einer wasserdichten Kammer eingeschlossen, an deren Deckel sich ein Diaphragma befindet. Bei jeder Umdrehung des Zahnrades führt ein kleiner Hammer einen leichten Schlag aus, dessen Ton durch den hohlen

Stab geht, der den Messer trägt und durch das biegsame Rohr zum Ohre des Beobachters gelangt. Auf diese Weise werden die Umdrehungen des Flügels gezählt. In Verbindung mit einer elektrischen Batterie kann der während einer Umdrehung geschlossene und unterbrochene Strom die Umgänge an einem über Wasser befindlichen Zählapparat ersichtlich machen.

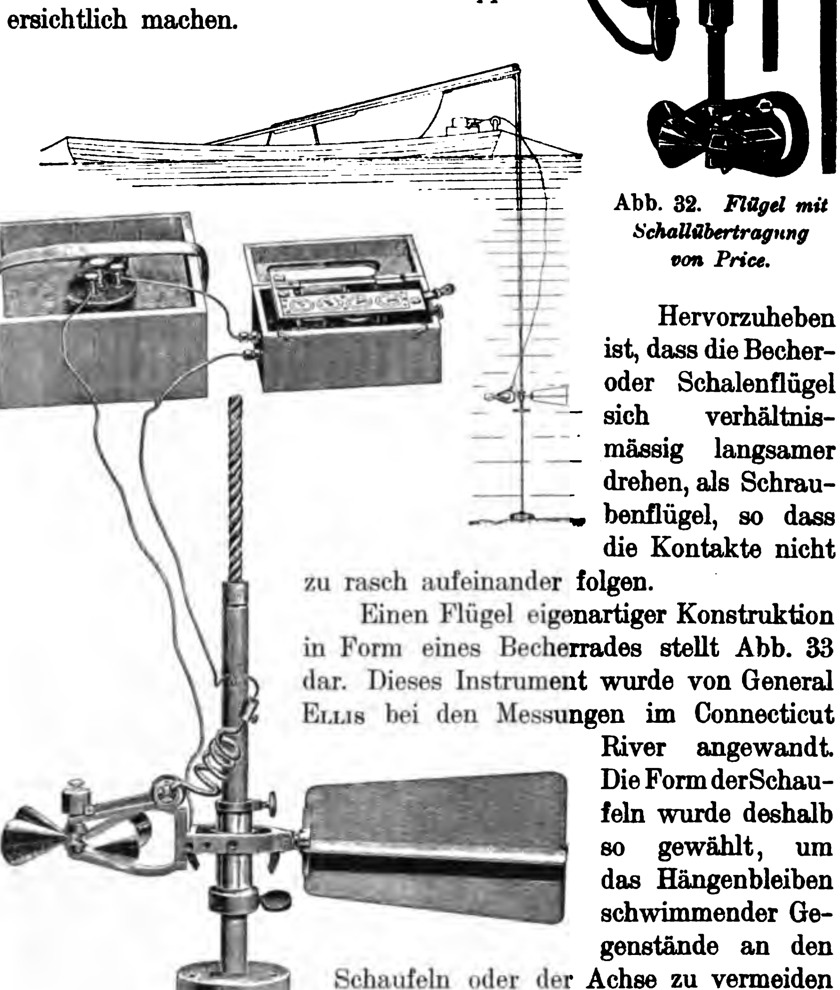


Abb. 32. *Flügel mit Schallübertragung von Price.*

Hervorzuheben ist, dass die Becher- oder Schalenflügel sich verhältnismässig langsamer drehen, als Schraubenflügel, so dass die Kontakte nicht zu rasch aufeinander folgen.

Einen Flügel eigenartiger Konstruktion in Form eines Becherrades stellt Abb. 33 dar. Dieses Instrument wurde von General Ellis bei den Messungen im Connecticut River angewandt. Die Form der Schaufeln wurde deshalb so gewählt, um das Hängenbleiben schwimmender Gegenstände an den Schaufeln oder der Achse zu vermeiden und das Registrieren von der Stellung der Instrumentenachse zum Stromstrich

Abb. 33. *Flügel von General Ellis.*

unabhängig zu machen, so dass auch Geschwindigkeiten in grosser Tiefe genau gemessen werden können. Dieses Instrument ist nach der Anordnung von Robinsons Anemometer gebaut, die Schaufeln bestehen nicht aus Schraubenflächen, sondern laufen schalenartig nach hinten konisch zu und sind gegen die Radnabe zugespitzt. Das Vorderteil des Gestells, welches das Rad trägt, kann in jede beliebige Stellung gedreht und befestigt werden, so dass die Schaufel horizontal oder vertikal läuft oder jeden gewünschten Winkel bildet. Infolge der elektrischen Übertragung, mit der ganze oder Bruchteile von Umdrehungen registriert werden, befindet sich der Zählapparat über Wasser oder am Ufer, weshalb Messungen in beliebiger Tiefe gemacht und ohne Unterbrechung auch längere Zeit fortgesetzt werden können, ebenso ist man in der Lage, mehrere Instrumente auf ein und denselben Stab zu stecken und gleichzeitige Beobachtungen der Geschwindigkeit in verschiedenen Tiefen anzustellen.



Abb. 34. *Flügel von Fteley & Stearns.*

Einen weiteren Strömungsmesser von Fteley & Stearns zeigt Abb. 34. Derselbe besteht aus einem achtflügeligen Schaufelrad und hat ebenfalls elektrische Zeichengebung.

Unter die Gruppe der Flügel zählt in gewissem Sinne auch der Wegweiser des Seemanns, das Schiffslog, das aus einem Registrierapparat und einem an der Leine durchs Wasser mitgeschleppten kleinen Schraubenpropeller besteht, der durch die Geschwindigkeit des Schiffes in Umdrehung versetzt wird. Diese Drehungen werden auf ein Räderwerk übertragen, das so eingerichtet ist, dass man unmittelbar auf Zifferblättern die Anzahl der Seemeilen, die während eines Reise-Etmals oder auch in kürzerer Zeit durchlaufen sind, ablesen kann. Das Grundlog wird in flachen Gewässern, die Strömung haben, benutzt, um die über den Grund zurückgelegte Geschwindigkeit zu messen. Das geschieht durch ein Lot, mit dem man vorher die Tiefe misst. Die schrägen

bekannten Strecken der Leine und die Wassertiefe ergeben zwei rechtwinkelige Dreiecke, aus denen die wirklich zurückgelegte horizontale Strecke leicht durch Rechnung zu finden ist. Bei sehr geringer Schiffsgeschwindigkeit kann man deren genaueste Bestimmung durch das Relingslog machen, indem man die Zeit misst, worin ein ins Wasser geworfener ruhender Gegenstand eine bekannte Distanz, die durch zwei Marken auf der Reling begrenzt ist, passiert. Nach den Versuchen Bordas auf der Fregatte „La Flore" verkürzt man diese Länge in den meisten Marinen um 20 %, da man annimmt, dass durch die Spannung der Leine das Logscheit um soviel mitgeschleppt wird.

Bei grossen Geschwindigkeiten, z. B. in angeschwollenen Strömen, hören Schwimmer der gewöhnlichen Art auf, anwendbar zu sein, die Beobachtungen mit dem Flügel bieten unter diesen Umständen ebenfalls beträchtliche Unbequemlichkeiten, so dass man sich in solchen Fällen mit Vorteil des Logs bedienen kann.

Die Tarierung des Flügels

d. h. die Bestimmung der Konstanten erfolgt am besten auf hydraulischen Observatorien.

Die hydrotechnische Versuchsanstalt der Technischen Hochschule in München (Vorstand Dr. M. Schmidt) befasst sich mit der Ermittelung der Konstantenbestimmung für Woltmannsche Flügel und liefert bei Rücksendung der Flügel mit den Resultaten auch die Diagramme der Geschwindigkeitskurven. Dieses Institut stellt besonders für kleinere Geschwindigkeiten die gesetzmässigen Beziehungen zwischen den Umgangszahlen verschieden konstruierter Flügel und den zugehörigen Wassergeschwindigkeiten fest.[1])

Die Adjustierung des Flügels erfolgt in der Weise, dass der Flügel in stehendem Wasser mit verschiedenen konstanten Geschwindigkeiten v_1, v_2... auf eine gemessene Strecke C fortbewegt und am Zählwerke die Anzahl der auf diesem Wege vom Flügel ausgeführten Umdrehungen abgelesen wird; gleichzeitig muss die Dauer der Bewegung beobachtet werden. (Abb. 35.)

---

1) Prof. Dr. M. Schmidt, Die Gleichung des Woltmannschen Flügels in neuer Form und die Ermittelung ihrer Koeffizienten auf graphisch-analytischem Wege. (Zeitschrift des Vereins d. Ing. Bd. 1895.) Gegen die Theorie des Woltmannschen Flügels lassen sich erhebliche Bedenken einwenden, die durch sorgfältige Beobachtungen von Ingenieur Epper in Bern und Wasserbauinspektor Schmid in Danzig nachgewiesen wurden.

Es wird ohne weiteres angenommen, dass dieselben Gesetze für den Widerstand unbegrenzten ruhenden Wassers gegen die Bewegung eines in demselben schwimmenden Körpers gelten, als für den Stoss unbegrenzten fliessenden Wassers gegen einen in ihm schwimmenden aber an derselben Stelle verharrenden Körper gefunden wird.

Wie WEISSBACH gezeigt hat, ist jedoch der Koeffizient für beide Bewegungsarten bei derselben Geschwindigkeit nicht gleich. Der Druck auf die Fläche oder den Körper ist um so kleiner, je mehr der vordere und hintere Teil des Körpers scharf prismatisch zuläuft. Es wird bei den hydrometrischen Flügeln deshalb hauptsächlich darauf ankommen, die Geräte so zu konstruieren, dass sie dem Wasser möglichst geringe Reibungsfläche darbieten und dass die Wasserfäden durch das materielle Volumen des Instrumentes nur wenig von ihrer Bahn abgelenkt werden.

Tabelle VII.

Aichung eines Woltmannschen Flügels mit 118 mm Schaufeldurchmesser.

Strecke einfach = 30,02 m, hin und zurück = 60,04 m = s, Flügel mit Öl geschmiert.

Zeit für Hin- und Rück-gang	Umgänge während desselben	Geschwindigkeit m in der Sekunde	Umgänge in der Sekunde	Wahrscheinlicher Wert von v	Wahrscheinlicher Fehler der Beobachtung +	−
t''	N	$v = \frac{s}{t}$	$n = \frac{N}{t}$		mm	mm
280	250	0,2144	0,893	0,2158		0,9
208	255	0,2887	1,226	0,2919		3,2
160	250	0,3752	1,562	0,3691	6,1	
142	261	0,4198	1,755	0,4134	6,4	
119	254	0,5045	2,134	0,5005	4,0	
97	261	0,6190	2,691	0,6234		9,4
79	263	0,7600	3,329	0,7750		15,0
64	258	0,9381	4,031	0,9363	1,8	
60,5	256	0,9924	4,231	0,9822	10,2	

Resultat: $v = 0{,}0103 + 0{,}2297\,n$
$v = 0{,}01 + 0{,}2298\,n$ — n in der Sekunde

$v = 0{,}01 + 0{,}0383\,n$ — n in der Minute.

Mittlerer Fehler 6,5 mm = 1,1 %.

Giltig zwischen $v = 0{,}2$ m/sec. und $v = 1$ m/sec.

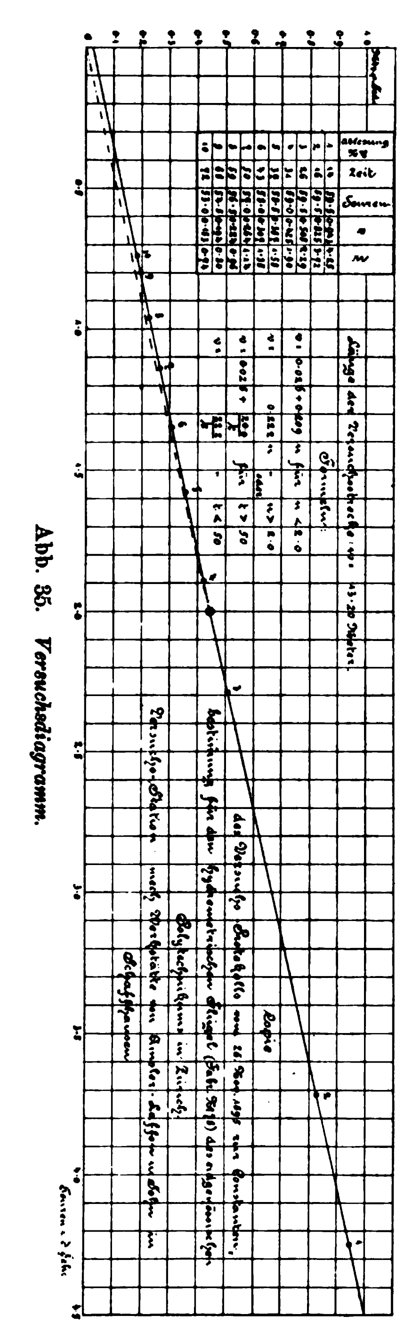


Abb. 35. *Versuchsdiagramm.*

Der verhältnismässig grosse mittlere Fehler ist grösstenteils Folge der Kleinheit des Flügelrädchens.

Hat der Flügel die Tourenzahl $N_1 N_2 \ldots . N_k$ ausgeführt und zwar in den Zeiten $t_1 t_2 \ldots . t_k$, so ist

$$v_k = \frac{C}{t_k}$$

und die je in einer Sekunde ausgeführte Tourenzahl

$$n_k = \frac{N_k}{t_k}.$$

Die Beobachtungsergebnisse lassen sich sehr genau durch die Gleichung darstellen[1])

$$v_k = \alpha + \beta\, n_k$$
$$\frac{l}{t_k} = \alpha + \frac{\beta N_k}{t_k}$$
$$l = \alpha\, t_k + \beta N_k,$$

woraus nach der Methode der kleinsten Quadrate abgeleitet

$$\alpha = l\left(\frac{D\,C - E\,B}{A\,C - B^2}\right)$$
$$\beta = l\left(\frac{E\,A - D\,B}{A\,C - B^2}\right),$$

wo

$$A = t_1^2 + t_2^2 + \ldots .$$
$$B = t_1 N_1 + t_2 N_2 + \ldots .$$
$$C = N_1^2 + N_2^2 + \ldots$$
$$D = t_1 + t^2 + \ldots ..$$
$$E = N_2 N_2 + \ldots .$$

Bei der Konstantenermittelung bezüglich der Zuverlässigkeit für verschiedene Geschwindigkeiten ist nicht ausser acht zu lassen, dass die Koeffizienten des Instrumentes

1) Amsler-Laffon: Der hydrometrische Flügel; Schaffhausen 1877.

durch unbedeutende Ursachen verändert werden: durch zu scharfen Eingriff der Zählscheiben mit der Schraube ohne Ende (z. B. durch Verstellung einer Anschlagschraube, durch eine lahme Feder u. s. w.) oder durch Lockerung einer Lötstelle der Palette infolge Anstossen des Instrumentes. Bei der Wiederbefestigung kann die Palette nicht wieder genau in die ursprüngliche Lage kommen, wodurch sich eine Konstante ändert. Durch längere Unterbrechung im Gebrauche des Instrumentes verliert die Formel für die Geschwindigkeit ebenfalls ihre Giltigkeit.[1])

Einfluss der mittleren Fehler von α und β auf die Bestimmung von v.

Über die Prüfung hydrometrischer Flügel hat Ing. Eisenlohr im „Wochenblatt für Baukunde“ Mitteilungen gemacht, die sich auf die Fehlergrenzen beziehen, welche bei Tarierung des Instrumentes nach dem üblichen Verfahren vorliegen.

Die Formeln zur Berechnung der Wassergeschwindigkeit aus der Anzahl der Umdrehungen (n) eines Flügels in der Zeiteinheit sind hiernach nur richtig unter der Voraussetzung, dass sämtliche Beobachtungen mit gleicher Genauigkeit angestellt werden. Der mittlere Fehler der beobachteten Geschwindigkeit (v), bezogen auf die Einheit, d. h. die Genauigkeit von v ist umgekehrt proportional der Dauer der Versuchsfahrt.

Der mittlere Fehler der Beobachtungen (n), bezogen auf die Einheit, d. h. die Genauigkeit von n ist für kleine Fahrzeiten t nahezu umgekehrt proportional mit diesen, für grössere t verhältnismässig etwas geringer.

Aus der Tatsache, dass bei wiederholter Prüfung eines Instrumentes nach längerem Gebrauche oft andere Werte für die Konstanten gefunden wurden, hat man geschlossen, dass diese Veränderungen unterworfen seien. Nach den im betreffenden Aufsatz entwickelten Anschauungen über die Bedeutung von α und β in der Formel

$$v = \alpha + \beta n$$

wäre eine solche nur für α zu erwarten infolge von Abnutzung, Unreinlichkeiten u. s. w.; β würde ohne Beschädigung der Flügelform keine Änderung erleiden, da β von der Form des Flügels abhängig und bei den nach einer Schraubenfläche gestalteten gleich der Ganghöhe dieser ist.

[1]) Prof. Rateau: Expériences et théorie sur le tube de Pitot et sur le moulinet de Woltmann. Paris 1902.

Die Tarierung hydrometrischer Flügel erfolgt im allgemeinen durch Fahrten in stillstehendem Wasser mittels eines auf Schienen laufenden von der Hand oder elektrisch angetriebenen Wagens, an dem das Instrument befestigt ist. Über eine neue Methode der Konstantenbestimmung berichtet CLARENCE T. JOHNSTON, Vorstand der U. S. Prüfungsanstalt in Cheyenne (Wyo) in „Report of Irrigation Investigations for 1900".

Die Aichung findet hiernach in einem rechteckigen Wasserbehälter von 240 Fuss (= 73,15 m) Länge und 120 Fuss (= 36,57 m) Breite statt. In den Punkten A und B (Abb. 36) sind zwei durch

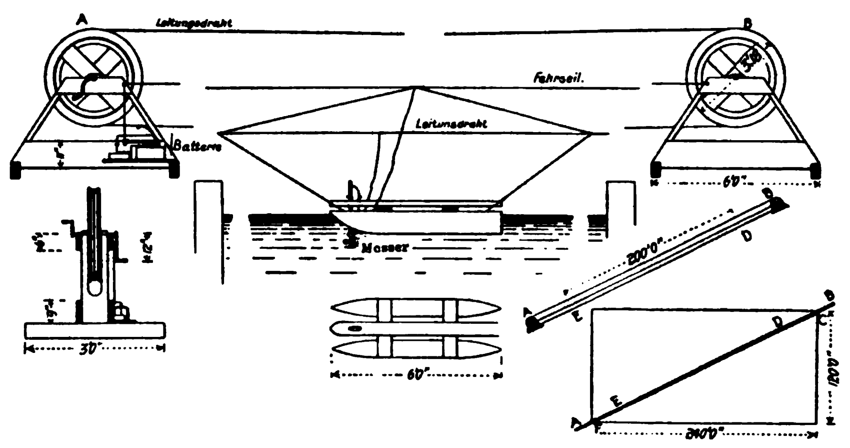


Abb. 36. *Einrichtung der U. S. Wassermesser-Prüfungsstation Cheyenne (Wyo).*

Handkurbeln drehbare Drahtseilscheiben mit 10 Fuss Umfang (= 3,048 m) aufgestellt. Das Bassin wird in diagonaler Richtung von B nach A durchfahren; der Flügel befindet sich in senkrechter Stellung an der Vorderseite zweier gekuppelter Boote, etwa 12 bis 14 Zoll (= 0,3048 bis 0,3556 m) unter dem Wasserspiegel. Die Einrichtung ist für Flügel mit elektrischer Zeichengebung ausgeführt, das Führungskabel für die Boote bildet gleichzeitig einen Teil des Stromkreises für die bei A aufgestellte Batterie; der durchfahrene Weg $\overline{ED}$ beträgt 200 Fuss (= 60,9 m).

Die hydrometrischen Schaufeln enthalten gewöhnlich zwei Flügel, manchmal auch 3 und 4 Stück, bei einzelnen Konstruktionen erstreckt sich die Druckfläche derselben bis zur Radnabe. Die Stellung der Flügel zur Achse ist gewöhnlich normal, kann aber auch schräg gerichtet sein.

Letztere Form scheint gewählt zu werden, um dem Wasserstoss eine vermehrte Druckfläche darzubieten und die seitliche Ablenkung der Wasserfäden zu verhindern. Verfasser ist der Ansicht, dass man sich bezüglich der Flügelform und Anzahl nach den Erfahrungen und bewährten Formen an Anemometer, desgleichen an Schiffsschrauben richten sollte. Beim Messen grösserer Geschwindigkeiten wirkt die geringste Flügelanzahl jedenfalls am günstigsten, ebenso ein kleiner Schaufeldurchmesser, weil die Oberflächenreibung kleiner wird. Die grossen Flügel rotieren entsprechend langsamer, eignen sich daher für Messungen in Strömen und Flüssen mit beträchtlichen Wassermengen bei grosser Tiefe. Ein kleiner und leichter Flügel mag die Schwankung in der Wasserbewegung rascher aufnehmen, infolgedessen aber einen grösseren Ungenauigkeitsgrad haben, ein grosser Flügel misst mit einer einzigen Beobachtung die Geschwindigkeit einer entsprechend grösseren Profilfläche und zeigt grösseres Beharrungsvermögen. Bei der Wahl des Instrumentes wird es daher besonders auf das Verhältnis des Wasserquerschnittes zur Wassergeschwindigkeit ankommen.

Die mit einem Blechzylinder, nach dem Vorgange von Treviranus umgebenen Woltmannschen Flügel gestatten zwar das Messen der Wassergeschwindigkeit unmittelbar an der Sohle und den Wänden eines Kanals ohne Gefahr des Anstossens der Schaufelflügel und Beschädigung derselben, die Schutzhülse soll ausserdem noch das seitliche Ausweichen der Wasserfäden in der Umgebung des Rades unschädlich machen, vermehrt jedoch dessen Reibungsfläche. Bei einem Teil der in England und Amerika im Gebrauch befindlichen Instrumente ist ein Ring mit den Schaufelflügelenden verbunden, deren Anzahl meistens 8 Stück beträgt, doch dürfte zu beachten sein, dass mit Vergrösserung der Druckfläche immer ein Nachteil verbunden und daher volle Veranlassung gegeben ist, mit der Anzahl der Flügel so sparsam als möglich vorzugehen, auch bietet das Rad mit umlaufendem Kranz vermehrte Gelegenheit für das Anhängen von Gras u. s. w.

Eine wesentliche Verbesserung könnte an dem hydrometrischen Flügel dadurch erzielt werden, dass das Instrument in einen Schreibtelegraphen etwa nach Art der Dampfdruck-Indikatoren umgestaltet würde.

Neuere Flügel mit elektrischer Zeichengebung sind ja bereits schon Glockentelegraphen, nun würde aus dem Instrument ein Schreibtelegraph und zwar könnte derselbe in einen Stiftschreiber

umgewandelt werden. Bei der ausserordentlich grossen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität und bei der immerhin merklichen Einfachheit der aufzuwendenden Mittel müsste sich in dieser Art ein zuverlässiges Instrument bauen lassen. Die Stromleitung wäre mit einem am oberen Ende der Flügelstange befindlichen oder seitlich aufgestellten elektrischen Anker zu verbinden. Vor dem Schreibstift drehte sich eine durch ein Uhrwerk bewegte Trommel mit Diagrammpapior. Zieht der Elektromagnet nach einer bestimmten Umdrehungszahl des Flügels den Anker an, so drückt sich der Schreibstift in das Papier ein und hinterlässt einen Punkt. Das Papier enthält genaue Zeiteinteilung nach Minuten, Sekunden und Zehntelsekunden. Der Abstand der Punkte liesse scharf unterscheiden, welche Zeitlänge eine bestimmte Umgangszahl des Flügels gebraucht hat. Beim Einsenken des Flügels in eine benachbarte Vertikalreihe könnte der Papierstreifen auf der Walze erneuert werden. Der Apparat liesse sich auch als Farbenschreiber ausgestalten, um die Geschwindigkeit der Schaufel für eine ganze Vertikalreihe als Kurve aufzuzeichnen. Der Ankerhebel des Elektromagneten diente als Schreibhebel und drückte gegen den von der Uhrtrommel vorübergeführten Papierstreifen, wobei der Hebel in seiner Höhenstellung beständig durch die Stromstärke der elektrischen Batterie, welche durch die wechselnde Geschwindigkeit der Schaufel reguliert wird, entsprechend sich einstellte.

Der erste Vorschlag dürfte der einfachere sein. Sofern der Druck des Wassers durch eine Vorrichtung aufgenommen würde, liesse sich die durchschnittliche mittlere Geschwindigkeit einer Vertikalen mit einer einzigen Beobachtung mittels des Schreibtelegraphen als Kurve aufzeichnen. Die „Wasserfahne" des Ximenes oder das „Tachometer" von Brünings wäre hierzu vielleicht ein verwendbares Vorbild. Eine senkrechte Spindel, die um Zapfen an beiden Enden drehbar ist, trägt eine Platte, gegen die man das fliessende Wasser stossen lässt. Am oberen Ende befindet sich der Schreibapparat mit Indikatorfedern. Die letzteren sind durch genaue Versuche zu prüfen. Man kann sich den Wasserstoss jederzeit leicht so gross denken, dass die Scheibe (Platte) normal von den Wasserfäden getroffen wird, deren Geschwindigkeit bestimmt werden soll. Das Instrument könnte, ohne dass man es zu der betreffenden Ablesung aus dem Wasser nehmen muss, zum Messen der Geschwindigkeit in verschiedenen Tiefen derselben Senkrechten benutzt werden.

d) Wassermesser.

Durch Rohrleitungen fliessende Wassermengen werden mittels Wassermesser bestimmt. Für grosse Mengen eignen sich jene von Deacan und die Venturi genannten. Erstere übertragen die von der Geschwindigkeit des strömenden Wassers beeinflussten Auf- und Abwärtsbewegungen einer Scheibe auf einen durch Uhrwerk gedrehten, mit Papier bezogenen Zylinder und ermöglichen das Registrieren der durch das Rohr geflossenen Wassermengen auf demselben durch einen Schreibstift. Auf die Konstruktion des „Venturi-Messers“ treten wir im Nachstehenden näher ein.

Venturi-Messer.

Der Apparat ist für die Ermittelung der durch Rohrleitungen jeder Grösse fliessenden Wassermengen bestimmt. Er besteht aus einem an einer Stelle eingeschnürten Rohre, das an zwei Punkten durch kleine Röhren mit einem Zähl- oder Aufzeichnungsapparat verbunden ist. Das Rohr wird unmittelbar in die Druckleitung eingeschaltet, während das Zählinstrument in bis zu 300 m beliebiger Entfernung davon aufgestellt werden kann; nimmt man elektrische Übertragung zu Hilfe, so ist die Entfernung unbeschränkt. Die Ablesung der Messungen kann auf zweierlei Weise geschehen, entweder durch Aufzeichnung eines Diagrammes auf einem auf rotierender Trommel gewickelten Papierstreifen oder durch ein Zählinstrument, das mittels Zeiger die ganze durchgeflossene Wassermenge, von dem Zeitpunkt an, wo alle Zeiger auf Null gestellt worden sind, angibt. In den meisten Fällen werden beide Methoden gleichzeitig angewendet und sind in einem Apparat vereinigt; sie dienen gegenseitig zur Kontrolle der Richtigkeit des Wassermessers.

Bewegliche Teile befinden sich nur an dem Aufzeichnungs- und Zählinstrument, welches in einem geschützten Raume aufgestellt werden kann; der Venturimesser wird deshalb in seiner Tätigkeit durch die vom Wasser mitgeführten Fremdkörper nicht gestört, ein Umstand, der von besonderer Wichtigkeit ist.

Die Wirkungsart des Messers beruht auf der bekannten Eigenschaft der Venturiröhre, wonach dieselbe in durch ihren engsten Querschnitt gebohrten Löchern beim Durchfluss von Wasser eine Saugwirkung erzeugt. Die Konstruktion des Messers (Abb. 37) besteht in der Hauptsache aus einer Nachbildung jener Röhre; sie trägt an zwei Stellen, nämlich an einer nahe dem Anfang der

Verjüngung gelegenen bei A, wo die Kontraktion des Wasserstrahles noch nicht beginnt und ferner am sogenannten Hals B des Messers je ein Manometer. Sobald die Durchströmung in der Rohrleitung beginnt, sinkt der Druck im Hals des Messers und bei zunehmender Durchflussgeschwindigkeit tritt sogar ein Vakuum ein. Das andere Manometer hingegen wird fortfahren, eine der Wassermenge entsprechende Pressung zu zeigen.

Nach den Überlieferungen sollen schon die alten Römer von den Eigenschaften der Venturiröhre Gebrauch oder richtiger Missbrauch gemacht haben. Sie besassen nämlich das Recht, aus den öffentlichen Aquadukten Wasser und zwar mittels einer amtlich gestempelten kalibrierten metallenen Ansatzröhre zu



Abb. 37. *Venturiröhre.*

entnehmen; böswillige Konsumenten sollen nun die Entnahme durch Verlängerung dieser Ansatzröhre vermittels einer Venturiröhre vergrössert haben. Es wurde daher ein Gesetz erlassen, welches vorschrieb, dass die Leitung eines jeden Konsumenten von der Ansatzröhre auf eine Länge von mindestens 50 Fuss die Weite der Ansatzröhre besitzen müsse. Venturi war jedoch der Meinung, dass seine Röhre selbst in diesem Falle noch die Wassermenge vergrössern müsse, wenn man dieselbe an das Ende der Leitung setzen würde.

Versuche zur Ermittelung des Genauigkeitsgrades wurden in der Weise durchgeführt, dass die in einer bestimmten Zeit durch den Apparat geflossenen Wassermengen einmal in einem genau geaichten Behälter direkt gemessen und das andere Mal mit Hilfe der piezometrischen Druckhöhen des Venturimeters berechnet, ausserdem noch die so berechneten Durchflussmengen mit den Angaben eines Registrierapparates verglichen wurden.

Der Venturimesser beruht auf dem Prinzip, dass der hydraulische Druck P an irgend einem Punkte einer Leitung dem hydrostatischen

Druck P_s gleich ist, welcher daselbst herrschen würde, wenn die Flüssigkeit in Ruhe wäre, vermindert um den Druck, welcher der Geschwindigkeit in diesem Punkte entspricht

$$P = P_s - \frac{v^2}{2g}$$

Um diese beiden Druckhöhen zu bestimmen und die Geschwindigkeit daraus abzuleiten, welche zur Berechnung der Durchflussmenge dient, hat man an zwei Querschnitten piezometrische Röhren angebracht und diese Querschnitte so gewählt, dass der durch Widerstände verursachte Verlust an Druckhöhe zwischen denselben vernachlässigt werden kann, dass sich aber die Geschwindigkeiten zufolge der verschiedenen Durchmesser merklich ändern. Bildet man nun die Differenz der Ausdrücke für P_1 und P_2, welche diesen Querschnitten entsprechen, so fällt die den beiden Querschnitten gemeinschaftliche hydrostatische Druckhöhe P_s aus der Rechnung heraus und es bleibt die Beziehung

$$P_1 - P_2 = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$$

Da nun nach der Konstruktion des Rohres der engste Querschnitt $^1/_9$ von dem normalen Querschnitt der Leitung beträgt, so wird die dem engsten Querschnitt entsprechende Geschwindigkeit

$$v_2 = 9 v_1 \text{ und } P_1 - P_2 = \frac{80}{81} \frac{v_1^2}{2g},$$

woraus

$$v_1 = \sqrt{\frac{81}{80} \, 2g(P_1 - P_2)}$$

oder $1{,}0062 = \sqrt{2g(P_1 - P_2)}$

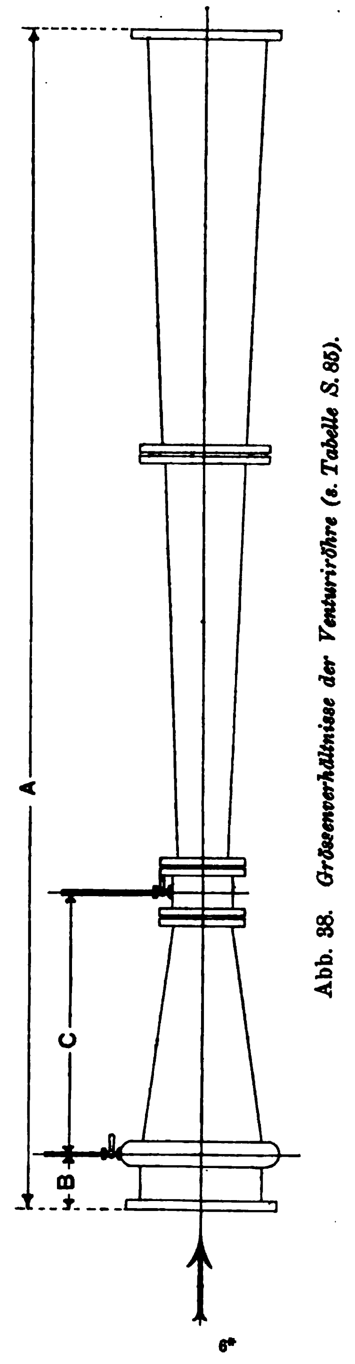


Abb. 38. *Grössenverhältnisse der Venturiröhre (s. Tabelle S. 85).*

Unter diesen Umständen ist der Druck an der eingeschnürten Stelle offenbar negativ, d. h. es herrscht dort ein Vakuum, und die Piezometerröhre muss zum Saugen aus einem mit Wasser gefüllten Gefäss eingerichtet werden.

Um die sekundliche Durchflussmenge daraus abzuleiten, braucht man nur noch v_1 mit dem betreffenden Querschnitt zu multiplizieren.

Bei den Versuchsapparaten von Cl. Herschel betrug das Verhältnis der Entfernung von der engsten bis zur weitesten Stelle zum grössten lichten Durchmesser 7,366 stromabwärts, dagegen stromaufwärts nur 1,677. Der Hals des Messers besteht aus einem mit Babittmetall ausgefütterten Gusskörper mit doppelter Wandung. Die durch letztere gebildete Luftkammer steht durch in den inneren Zylinder eingebohrte, auf den Umfang gleichmässig verteilte Löcher mit dem Innenraum in Verbindung. Der äussere Zylinder trägt oben eine Anbohrung, von welcher eine Leitung zu dem Vakuummeter führt.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass ein Verhältnis der maximalen zur minimalen Geschwindigkeit des Wassers von 14:1 im allgemeinen allen Anforderungen der Praxis genügt. Wenn es aber darauf ankommt, zwischen noch weiteren Grenzen die durch eine Leitung durchfliessende Wassermenge genau zu messen, so lässt sich der Venturimeter entsprechend konstruieren. Unter Umständen ist es angebracht, zwei Wassermesser nebeneinander aufzustellen, den einen für grösseren den anderen für kleineren Wasserverbrauch. Ein aus zwei trompetenartigen oder konischen Röhren von gleicher Grösse gebildeter Venturimesser würde den Vorteil bieten, dass das Wasser in beliebiger Richtung durchströmen kann. Werden mit einem solchen Messer zwei Leitungssysteme verbunden, so kann im Falle von Wassermangel nach beiden Richtungen Wasser bezogen und gemessen werden.

Eine für die Praxis wichtige Frage ist die des durch Venturimesser verursachten Druckverlustes. In einem Falle z. B. mit einer Geschwindigkeit des Wasser in der vollen Leitung von rund 3 Fuss (= 0,914 m) i. d. Sekunde bei dem Verhältnis

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{1}{9}$$

ist der Gefällverlust rund 1,9 Fuss (0,58 m) bei einem Druckunterschied $H = 12{,}7$ Fuss (3,87 m). In solchen Fällen, in denen der Druckverlust möglichst niedrig gehalten werden muss, kann man denselben dadurch vermeiden, dass man das Verhältnis $\frac{F_2}{F_1}$ vergrössert.

Venturiwassermesser.

Baulängen und Dimensionen der Endflanschen für Venturiwassermesser mit einem Verengerungsverhältnis 1 : 9 (Abb. 38).

Leitungs-Durch-messer	A	B	C	Durch-messer der End-flanschen	Durch-messer des Loch-kreises	Anzahl Bolzen	Bolzen-Durch-messer
152,4	1676	111	376	279	235	6	17,5
254	2743	164	578	406	349	8	19
304,8	3251	181	711	470	406	10	22
355,6	3657	172	798	530	467	10	22
381	4115	203	940	552	489	12	22
406,4	4267	219	991	594	533	12	22
457,2	4877	248	1067	635	578	12	22
609,6	6553	295	1502	813	752	12	25,4
762	8077	422	1756	1007	927	18	31,7

Der Venturimesser wird in Europa von George Kent, High Holborne, London W. C. 200 gebaut. Vertreter für Deutschland, England und Belgien ist Ingenieur C. W. Hatt in Laar bei Ruhrort am Rhein.

Abb. 39 und 40 stellen den Registrierapparat mit seinen aus Messing, Blei oder Zinn hergestellten Rohrverbindungen dar. Zur direkten Ablesung des durchgeflossenen Wasserquantums gibt es zweierlei Instrumente. Bei dem einen wird der Druckunterschied H auf einer durch Uhrwerk getriebenen Trommel aufgezeichnet. Die auf einem Papierstreifen eingetragene Skala für die Ordinaten entspricht dem Gesetze:

$$v = C \sqrt{2\,g\,H}$$

so dass man sofort ohne Umrechnung die pro Stunde durchfliessende Wassermenge ablesen kann. Der Koeffizient C wird erhalten, wenn man die direkt gemessene Durchflussmenge in der Sekunde durch die nach der Formel

$$Q = a \cdot \sqrt{2\,g\,(H_1 - H_2)}$$

berechnete Durchflussmenge dividiert und der also den Grad der Genauigkeit darstellt. a bedeutet die Querschnittsfläche an der engsten Stelle des Rohres. Der andere Apparat steht in Ver-

Kombinierter Diagramm und Zähl-Apparat.

Venturi Wassermesser

Liter

Lufthahn

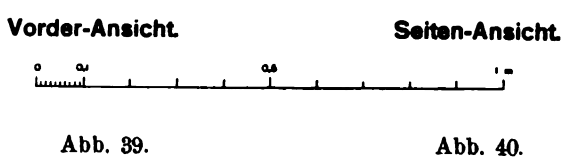
Lufthahn

Druckrohre zum Venturi-Rohr.

Ausgleichhahn

Uhr-Gewicht.

Quecksilber Ablassrohr



Vorder-Ansicht. Seiten-Ansicht.

Abb. 39. Abb. 40.

bindung mit einem Zähler, der die gesamte durchgeflossene Wassermenge in Volumeneinheiten in jedem Augenblick angibt. Die beiden Piezometerröhren, deren Ablesungen für die durch den

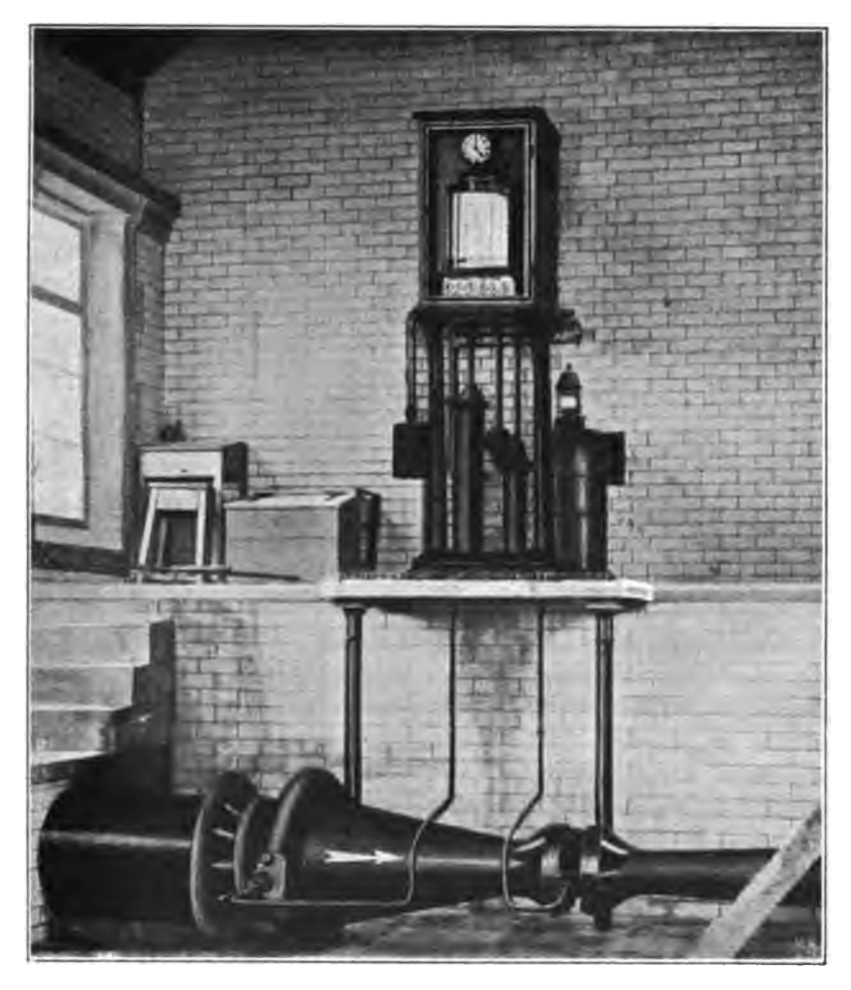


Abb. 41. *Gesamtanordnung des Venturiwassermessers mit Registrierapparat.*

Venturimeter fliessende Wassermenge massgebend sind, stehen mit den beiden Schenkeln eines U-Rohres in Verbindung, das mit Quecksilber teilweise gefüllt ist. Der Höhenunterschied der Quecksilbersäulen in den beiden Schenkeln gibt die Druckhöhe H an. Auf dem Quecksilber in jedem Schenkel ruht ein aus Eisen und

Grössenverhältnisse von Venturi-Wassermessern.

Durchmesser der Leitung Zoll engl.	mm	Minimal-Durchflussmenge i. d. Stunde cbm	Maximal-Durchflussmenge i. d. Stunde cbm	Durchmesser der Leitung Zoll engl.	mm	Minimal-Durchflussmenge i. d. Stunde cbm	Maximal-Durchflussmenge i. d. Stunde cbm
4	102	2,4	34,1	16	406	38,6	545,2
5	127	4,0	55,5	18	457	54,5	763,2
6	152	5,7	79,3	20	508	70,4	985,9
7	178	8,9	119,2	24	610	90,8	1272,0
8	203	9,6	136,3	27	686	118,1	1653,7
9	229	13,6	190,4	30	762	154,4	2067,1
10	254	15,9	222,0	33	838	177,2	2480,5
12	305	22,7	317,4	36	914	204,4	2862,1
14	356	34,1	477,0	40	1016	261,2	3657,1
15	381	36,3	508,8	48	1219	408,9	5724,2

Vulkanit konstruierter Schwimmer, von jedem Schwimmer wird die Bewegung des Quecksilbers mittels Zahnstange und Zahnrädern auf die beiden Instrumente übertragen. Die Konstruktion des vereinigten Zähl- und Aufzeichnungsapparates wird in Abb. 39 (Vorderansicht) und Abb. 40 (Seitenansicht) dargestellt. Abb. 41 zeigt die Gesamtanordnung des Venturiwassermessers mit dem Registrierapparat.

Damit bei dem Zählinstrument, welches das gesamte durchgeflossene Wasserquantum angibt, die Zählung dem Gesetze $v = C\sqrt{2gH}$ entspricht, wird eine sogenannte Integriertrommel angewendet, deren Oberfläche aus zwei Teilen von Zylinderflächen von verschiedenen Durchmessern mit derselben Achse, besteht, welche gegenseitig durch eine Quadratwurzelkurve abgegrenzt sind. Befindet sich die kleine Rolle, die mit einem der Schwimmer in Verbindung steht und deren Höhenlage dem Druckunterschiede H entspricht, in Berührung mit der kleineren Zylinderfläche, so wird mittels Zahngetriebe die Verbindung hergestellt zwischen der stets gleichförmig rotierenden Trommel und dem Zählmechanismus und letzterer wird in Tätigkeit gesetzt. Diese Tätigkeit dauert, so lange die Rolle auf der kleineren Zylinderfläche bleibt, und die Zeitdauer entspricht der Abszisse der Quadratwurzelkurve für die betreffende Höhenlage der Rolle und des Schwimmers. Sobald die

Grenzkurve überschritten wird, kommt die Rolle auf die grössere Zylinderfläche, das Zahngetriebe wird ausgehängt und der Zählmechanismus ausser Tätigkeit gesetzt. Ist z. B. der Druckunterschied Null, so bleibt die Rolle auf der grösseren Zylinderfläche, so lange der Druck nicht zunimmt, und das Getriebe wird während dieser Zeit nicht eingerückt. Nimmt der Überdruck zu, so senkt sich die Rolle und bleibt während einer Trommelumdrehung teilweise auf der grösseren und teilweise auf der kleineren Zylinderfläche. Ist beispielsweise die Druckhöhe H in einem Falle viermal so gross wie in einem andern, so verhalten sich die entsprechenden Zeiten, während denen der Zählapparat in Tätigkeit bleibt, wie 2 : 1. Die Trommel macht bei der üblichen Ausführung sechs Umdrehungen in der Stunde. Zu den Aufzeichnungen auf den Papierstreifen dient eine Feder von besonderer Konstruktion, bei der eine eigens dazu hergestellte Tinte verwendet wird.

Als ein Vorteil des Venturi-Wassermessers ist hervorzuheben, dass die Ungenauigkeiten der einzelnen Ablesungen, die infolge der Reibung der beweglichen Teile vorkommen, sich auf die Dauer gegenseitig ausgleichen, während bei den Flügelwassermessern dieselben sich summieren.

Die wichtigste Frage ist wohl die, zwischen welchen Geschwindigkeitsgrenzen ein gegebener Wassermesser sich mit ausreichender Genauigkeit verwenden lässt. Es ist klar, dass bei abnehmender Durchflussgeschwindigkeit der zu messende Überdruck auch kleiner wird, und schliesslich muss eine Grenze erreicht werden, wo dieser Überdruck sich nicht mehr mit Genauigkeit ablesen lässt oder durch die Reibungswiderstände des Zähl- bezw. Aufzeichnungsinstrumentes ganz oder teilweise aufgehoben wird. Unter gewöhnlichen Umständen ist das äusserste Verhältnis der Maximal- zur Minimalgeschwindigkeit in einer und derselben Rohrleitung 14 : 1 und wenn die Schwankungen der Geschwindigkeit diese Grenzen nicht überschreiten, so ist bei den üblichen Verhältnissen zwischen dem Rohrquerschnitt und dem Querschnitt der eingeschnürten Stelle (dem Hals) die Genauigkeit des Venturi-Wassermessers für praktische Zwecke vollkommen ausreichend.[1])

[1]) Bodmer, Zivilingenieur: Über Venturi-Wassermesser, ein Vortrag; Sonderabdruck 1899; München und Leipzig.

Literatur: Trans. Am. Soc. C. E. 1887 und 1888. Engineering März 9, 1894, und August 14, 1896; Engineer Januar 4, 1895 und 1897; Engineering News, Juni 15 und July 13, 1893; Annales des Ponts et Chaussées, 1898; Journal für Gasbeleuchtung (Schilling), Bd. 40; A Treatise on Hydraulics, by Mansfield Merriman, John Wiley & Sons, New-York 1895; Engineering News, Nov. 10, 1898; The Venturi Meter, Patented by Clemens Herschel, Providence R. I, 1898.

Die in der Wasserversorgung zur Messung des Kleinverbrauches üblichen „Wassermesser“ sind im Prinzip Wassermotoren, deren Nutzarbeit in der Bewegung des Zählers besteht, der aus einer

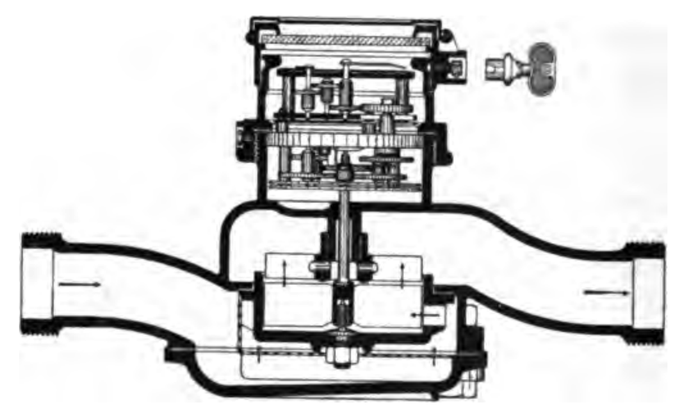


Abb. 42 *Wassermesser (Siemens & Halske A.-G.).*

gewissen Zahl von Füllungen bezw. Umdrehungen die durchgelaufene Wassermenge angibt. Benutzt werden vorzugsweise Kapselwerke, die nach Art der Gasmesser arbeiten, Kolbenmesser, ähnlich den Wassersäulenmaschinen und Geschwindigkeits- oder Flügelradmesser nach Art der Turbinen. Kolbenwassermesser sind der hohen Anschaffungskosten wegen in Deutschland und Österreich wenig verbreitet, dagegen in Frankreich (Paris) und Belgien (Brüssel) beliebt, weil man die Angaben derselben für zuverlässiger und die Genauigkeit für länger andauernd hält, als jene der Flügelradmesser. Letztere werden bei uns fast ausschliesslich verwendet, weil die Anschaffungskosten nur etwa ein Drittel der vorgenannten betragen und die Fabrikation auf einer solchen Höhe steht, dass die neuesten

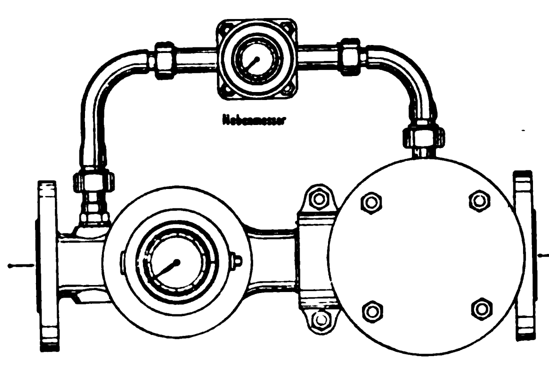


Abb. 43. *Wassermesser-Kombination (Siemens & Halske A.-G.).*

Apparate den Anforderungen der Wasserwerksverwaltungen genügen. Die guten Flügelradmesser geben den normalen Durchfluss auf 2 % genau an, sinkt aber die durchfliessende Wassermenge auf ein gewisses kleinstes Mass, so wird sie nicht mehr gemessen, weil dann die Energie des Wassers nicht mehr ausreicht, das Zählwerk zu bewegen. Auch zeigt der Messer in der Nähe der eben gedachten Grenze fehlerhaft. Die Wassermenge, welche ungemessen durchläuft, steigt im Verhältnis zur Grösse des Motors. Gehen durch einen Wassermesser abwechselnd kleinere, dann wieder sehr grosse Wassermengen, so werden zur möglichst genauen Registrierung zwei Wassermesser verschiedenen Kalibers zu einer Wassermesserverbindung vereinigt.



Abb. 44. *Wassermesser mit mechanischer direkt wirkender Registrierung (Siemens & Halske A.-G.).*

Man unterscheidet bei den Flügelradmessern solche, bei welchen das Zählwerk mit dem Flügelrad im Wasser sich bewegt (Nassläufer), und solche, bei denen das Zählwerk vom Wasser abgeschlossen ist (Trockenläufer). Die Zahl der im Handel vorkommenden Systeme ist eine sehr grosse und sie entsprechen fast alle den berechtigten Anforderungen.

Es kann nicht unsere Aufgabe sein, hier eine Übersicht über die verschiedenen Systeme von Wassermessern zu geben, wir beschränken uns vielmehr darauf, die Konstruktionen von Siemens & Halske vorzuführen. (Abb. 42 bis 45.)

Der Siemens-Wassermesser (Abb. 42) findet seine hauptsächlichste Verwendung naturgemäss für die Bestimmung des Wasserverbrauches in Wasserleitungsanlagen, bei denen ein Wasserwerk eine

grössere Anzahl von Verbrauchern bedient und der Verbrauch dem Quantum entsprechend zu bezahlen ist.

Dieser Messer ist ein Trockenläufer und der Konstruktion nach ein Rotations- bezw. Geschwindigkeitsmesser, dessen wesentlichster Teil aus einem von einer

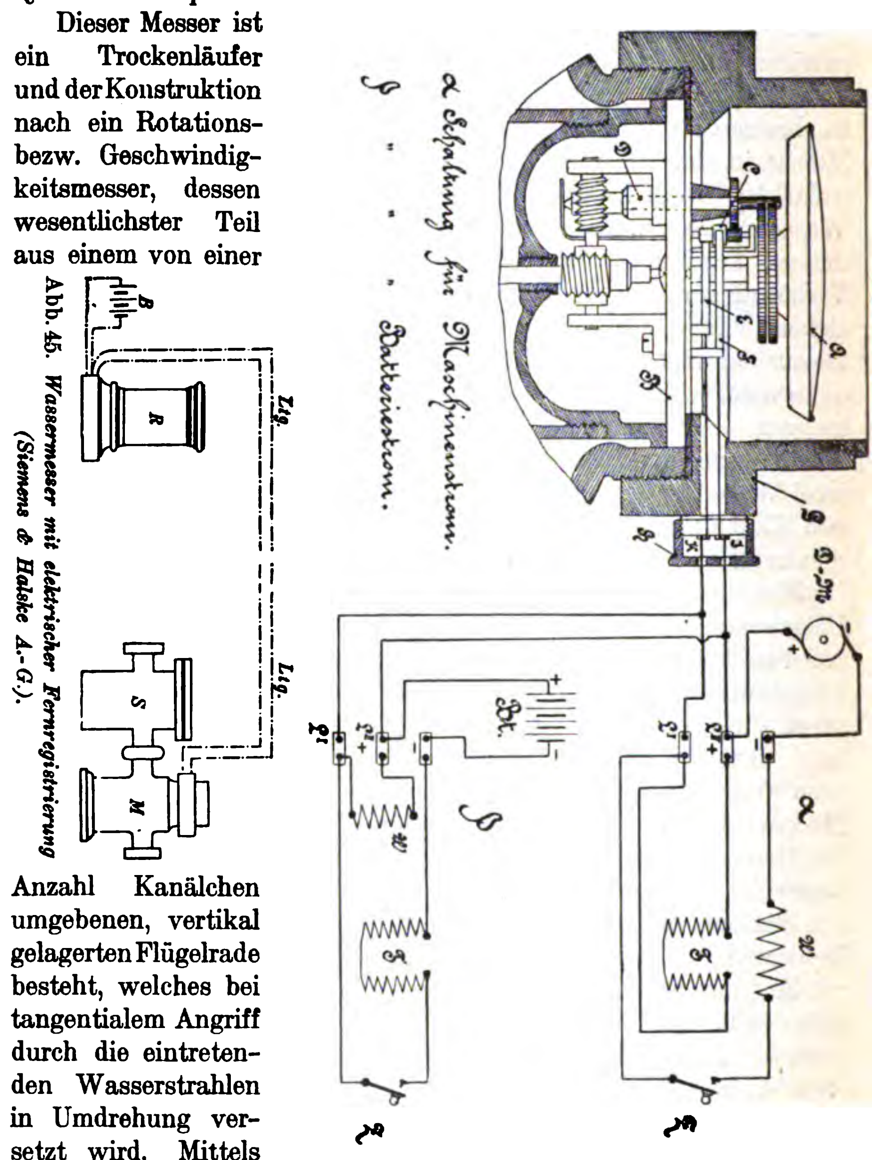


Abb. 45. *Wassermesser mit elektrischer Fernregistrierung (Siemens & Halske A.-G.).*

Anzahl Kanälchen umgebenen, vertikal gelagerten Flügelrade besteht, welches bei tangentialem Angriff durch die eintretenden Wasserstrahlen in Umdrehung versetzt wird. Mittels eines Zählwerkes werden diese Umdrehungen auf ein Zifferblatt übertragen, das die durchgeflossene Wassermenge angibt. Der Wassermesser ist derart konstruiert, dass die Umdrehungszahl des

Flügelrades stets proportional der durchströmenden Wassermenge bleibt und die Richtigkeit seiner Angaben weder von der Druckhöhe noch von der Geschwindigkeit des Wassers in der Rohrleitung beeinträchtigt wird. Die in eine Rohrleitung eingesetzten Wassermesser geben die unter 2 bis 150 m Druck durchgeflossene Wassermenge bis auf ± 2 % genau an.

Der Flügelradmesser hat eine begrenzte Empfindlichkeit, welche mit seiner Grösse zusammenhängt und so wird ein Wassermesser für grosse Rohrweiten schon bei einer kleinsten Durchflussmenge, bei welcher ein kleinerer Messer noch genau anzeigt, in seiner Tätigkeit versagen. Hat man nun grosse Rohrleitungen, von 40 mm Durchmesser aufwärts, aus denen die Entnahme bald stark bald schwach ist, so wird die Wassermessung mit einem einzigen grossen Messer ungenau werden, weil dieser die kleinen Durchflüsse nicht mehr misst. In solchen Fällen bringt man zwei Messer, einen kleinen und einen grossen, an, welche parallel geschaltet sind. Von diesen misst der grosse Messer die starken Durchflüsse, der kleine die schwachen; man bezeichnet diese Anordnung gewöhnlich als Wassermesser-Kombinationen, deren schematische Anordnung durch Abb. 43 gekennzeichnet ist. Nun aber wird hier offenbar eine Zusatzvorrichtung notwendig, welche bei starkem Durchfluss den grossen Messer einschaltet, dagegen bei geringerer Wasserentnahme, und zwar von einem bestimmten Grade ab, den grossen Messer ausschaltet, den kleinen einschaltet; bei wachsender Wasserstromstärke muss dann wieder die Umschaltung vom kleinen auf den grossen Messer stattfinden. Dieser Wechsel wird durch ein besonderes Ventil bewirkt, das in dem Ventilschmutzkasten der abgebildeten Anordnung liegt und dessen untere Hälfte zugleich als Schmutzkasten dient. Bei den neueren Kombinations-Ventilen sind besondere Vorrichtungen getroffen, dass zur Vermeidung von Messfehlern entweder ein plötzliches Öffnen oder Schliessen des Ventils erfolgt, oder dass der Zugang zu Hauptmesser und Nebenmesser je mit einem Ventile verschlossen ist, welche zwangläufig gesteuert werden, so dass jeweilig immer nur der Zugang des Wassers zu einem Messer möglich ist.

Der in Abb. 44 abgebildete Wassermesser mit mechanischer direkt wirkender Registrierung verfolgt den Zweck, den Wasserwerken eine möglichst genaue Übersicht über den Wasserverbrauch in einem Rohrdistrikt zu gewissen Tageszeiten zu verschaffen, um nach diesen Angaben den ganzen Betrieb der Wasserverteilung

zu regeln und eventuell vorliegende Wasservergeudung aufzudecken und derselben zu steuern.

Der hier abgebildete Apparat besteht in der Hauptsache aus zwei wesentlichen Bestandteilen: einem gewöhnlichen Wassermesser in unmittelbarer Verbindung mit einem Laufrad, welches einen mit Einteilung versehenen Papierstreifen in bestimmter Zeit um ein bestimmtes Stück fortbewegt. Die Aufzeichnung geschieht nun in der Art, dass die registrierende Bewegung des Wassermessers durch eine neue Konstruktion der Markiervorrichtung auf dem Papierstreifen vermerkt wird und zwar so, dass man durch die innerhalb einer gewissen Zeit gemachte Markierung auf dem Papierstreifen auf die Tätigkeit des Wassermessers und somit auf den Wasserverbrauch innerhalb eines beliebigen Zeitabschnittes schliessen kann.

Der neue Wassermesser mit elektrischer Fernregistrierung (Abb. 45) hat den Zweck, die Tätigkeit eines Wasserverbrauchmessers auch an anderen, entfernteren Orten, als an dem des unmittelbaren Wasserverbrauches übersehen zu können und so den Beobachter unabhängig von dem jeweiligen Standorte des Wassermessers zu machen.

Gleichzeitig ist man durch die Einrichtung des Apparates in den Stand gesetzt, eine genaue selbsttätige Aufzeichnung zwecks Kontrolle über den Wasserverbrauch für bestimmte Zwecke und zu bestimmten Zeiten zu besitzen. Es ist dies für industrielle Betriebe, z. B. zum Messen von Kesselspeisewasser, für Brauereien, chemische Fabriken u. s. w. oft von grosser Wichtigkeit. Der Apparat besteht aus der Verbindung eines Wassermessers mit einem Kontaktwerk, welches auf elektrischem Wege mit einem Schalt- und Uhrwerk verbunden ist und zur Betätigung des an einer entfernt liegenden Kontrollstelle befindlichen Registrier-Apparates dient. Die Kontrollvorrichtung besteht aus einer drehbaren Spindel, welche an den Umdrehungen der Zählwerksachse teilnimmt und auf einem unterbrochenen Schleifringe vermittels Schleiffedern einen Strom schliesst oder öffnet, welcher durch zwei Leitungen dem Empfänger übermittelt wird. Diese abwechselnde Stromgabe verursacht nun im Empfänger (Registrier-Apparat) die Höhenverschiebung einer Schreibvorrichtung, welche somit als Mass für die verbrauchte Wassermenge dient, während die Zeitdauer dieses Wasserverbrauches durch die Grösse der Umdrehung der Registriertrommel zu ersehen ist.

In dem gusseisernen Gehäuseteile *G* des Wassermessers ist unterhalb des Zeigerwerkes *A* auf der gegen Wasser abgedichteten Platte *B* die Kontaktvorrichtung *C* angeordnet, welche ihre Betätigung von der Konuswelle *D* des an der Unterfläche der Platte *B* montierten Zählwerkes *A* erhält.

Die Kontaktvorrichtung *C* ist derart eingerichtet, dass bei jeder halben Umdrehung ihrer Achse sowohl Stromschluss als auch Unterbrechung zwischen den beiden Reibungskontaktfedern *E* und *F* momentan erfolgt, wodurch die schädliche Funkenwirkung an den Kontakten möglichst vermieden wird. Von den beiden Schleiffedern *E* und *F* führen die elektrischen Zuleitungen isoliert und gegen Wasser abgedichtet durch die Wand des Gehäusekopfes *G* nach den beiden unter einer Verschraubung *H* befindlichen Klemmen *I* und *K*, welche durch die Fernleitungen mit dem Registrierapparat elektrisch verbunden sind.

Für den Betrieb der Registriervorrichtung mit Batteriestrom ist der Stromlauf, wie aus der schematischen Darstellung (Abb. 45) ersichtlich, der folgende:

Vom positiven Pol der Batterie *Bt* fliesst der Strom zunächst nach der mit *L II* + bezeichneten Klemme des Registrierapparates. Hier teilt er sich in zwei Stromkreise, von denen der eine von Klemme *L II* + durch den Vorschaltwiderstand *W* zur Klemme *L I* der andere von Klemme *L II* + durch die Fernleitung zur Kontaktvorrichtung *C* des Wassermessers und von dort durch die andere Fernleitung zur Klemme *L I* geht. Von hier fliesst der Strom durch den automatischen Ausschalter *Z* des Registrierapparates und durch die Windungen des Elektromagneten *T* zur negativen Klemme und von dort zum negativen Pole der Batterie zurück.

Für den Betrieb der Registriervorrichtung mit Maschinenstrom ist der Vorschaltwiderstand und Elektromagnetwiderstand miteinander vertauscht.

Bei der Fabrikation der Scheibenwassermesser hat man sich zur Aufgabe gemacht, die veraltete Gestalt der Wassermesser zu verbessern und ihnen ein geringeres Grössenverhältnis und dementsprechend ein kleineres Gewicht zu geben. Im Gegensatz zu den Flügelradmessern, bei welchen die durchfliessenden Wassermengen empirisch aus der Durchflussgeschwindigkeit ermittelt werden, wird bei dem Scheibenwassermesser der Wasserverbrauch durch Zählung der Leerungen einer Wasserkammer von bestimmtem Inhalt festgestellt. Die Scheibenmesser gehören also

zur Gattung der Volumenmesser, es sind Anti-Stossheber im besonderen Sinne.

Das Wasser tritt durch den Einlassstutzen *a* in das Unterteil des Messers ein, passiert den Schmutzkasten mit Sieb (Abb. 46), durch die rings um die Scheibenkammer *c* befindlichen Zwischenräume nimmt es seinen Weg nach der Einlassöffnung *m* und der Kammer selbst. In derselben wirkt es auf die Scheibe ein, indem

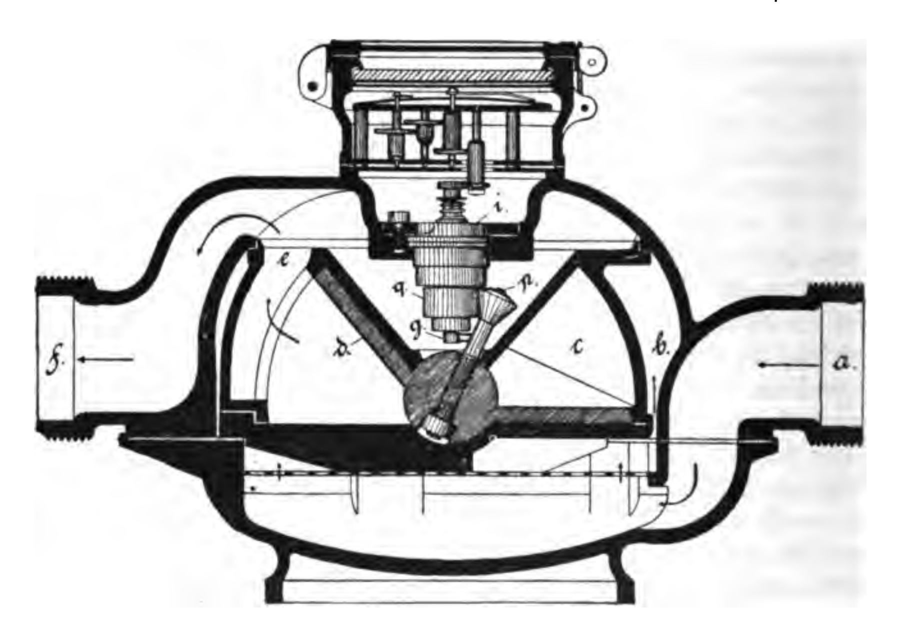


Abb. 46. *Scheibenwassermesser (Siemens & Halske A.-G.).*

es dieselbe in eine wälzende Bewegung versetzt und verlässt, nachdem es so gemessen, durch die Ausgangsöffnung und den Auslassstutzen *f* den Messer, um in die Rohrleitung zu gelangen. Die durch den Mitnehmer *g* übertragene Bewegung wird einem Differentialgetriebe mitgeteilt, das auf den Registriermechanismus wirkt. Als Kubizierungsapparat liefert der Messer genaue Messresultate und zwar von den kleinsten stündlichen Durchflussmengen beginnend.

Ein weiterer Vorteil der Scheibenmesser im allgemeinen ist der, dass sie in jeder beliebigen Lage, wie es die Leitung gerade gestattet, eingeschaltet werden können und dann immer richtige Angaben liefern.

In neuerer Zeit wird besonderer Wert auf solche Wassermesser gelegt, welche das den Messer vorwärts und rückwärts durchströmende Wasser registrieren. Derartige Apparate werden mit Vorteil für solche Fälle verwendet, wo infolge mangelhafter Anlage des Rohrnetzes ein ständiges Pendeln der Wassersäule stattfindet. Durch Scheibenwassermesser kann das hin- und zurückfliessende Wasser mit gleicher Genauigkeit gemessen werden.

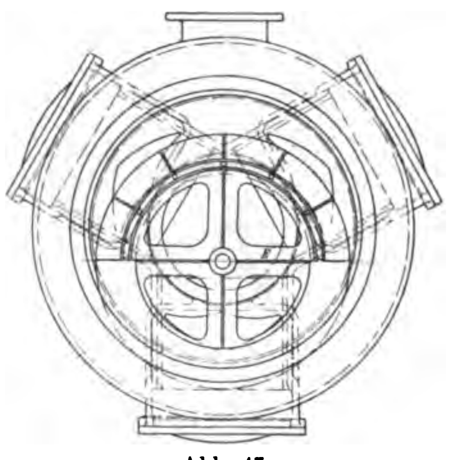


Abb. 47.

Zum Messen grosser Wassermengen erweist sich der von der Berliner Maschinenfabrik vormals L. Schwartzkopf gelieferte Kolbenmesser als recht brauchbar. Der Apparat besteht aus drei sternförmig im Winkel von 120⁰ zueinander verstellten Zylindern (Abb. 47 bis 50), in welchen drei einfach wirkende Kolben *A* durch das Wasser hin- und herbewegt werden. Die Kolben geben ihre Bewegung mittels der Pleuelstangen an die Kurbel *B* (Abb. 50) ab, deren Welle mit dem Tourenzähler *C* direkt gekuppelt ist. Die an dem letzteren abgelesene Umdrehungszahl muss zur Ermittelung des Wasserquantums mit dem Volumen (100 l) multipliziert werden, welches während einer Umdrehung von den drei Kolben verdrängt wird. Wie die Abbildung erkennen lässt, ist das Gussgehäuse des Apparates an der oberen Seite zu einem zylindrischen Ansatz ausgebildet. Derselbe nimmt, wie der Vertikalschnitt durch den zusammengebauten Apparat (S. 98) zeigt, einen entlastenden

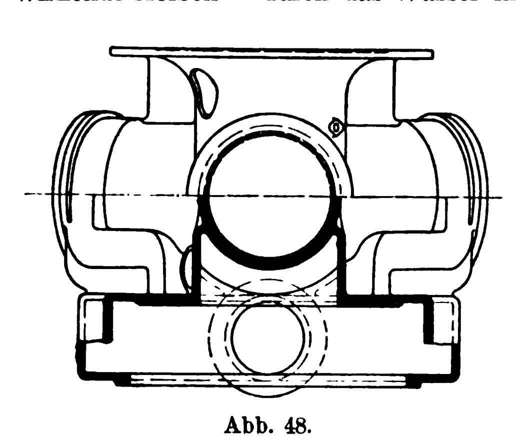


Abb. 48.

Drehschieber *E* auf, welcher das durch den Hals *D* eintretende Wasser den Zylindern zu- und aus denselben ableitet. Um ein dichtes Aufeinanderpassen der Berührungsflächen von Drehschieber und Gehäuse zu ermöglichen, sind dieselben sorgfältig abgeschliffen. Dadurch wird in wirksamer Weise ein Durchtreten von Wasser und damit Messfehler verhindert, welche bei dem Zellenradwassermesser durch die mangelhafte Dichtung zwischen dem Rad und Gehäuse entstehen. Aus dem Stutzen *F*

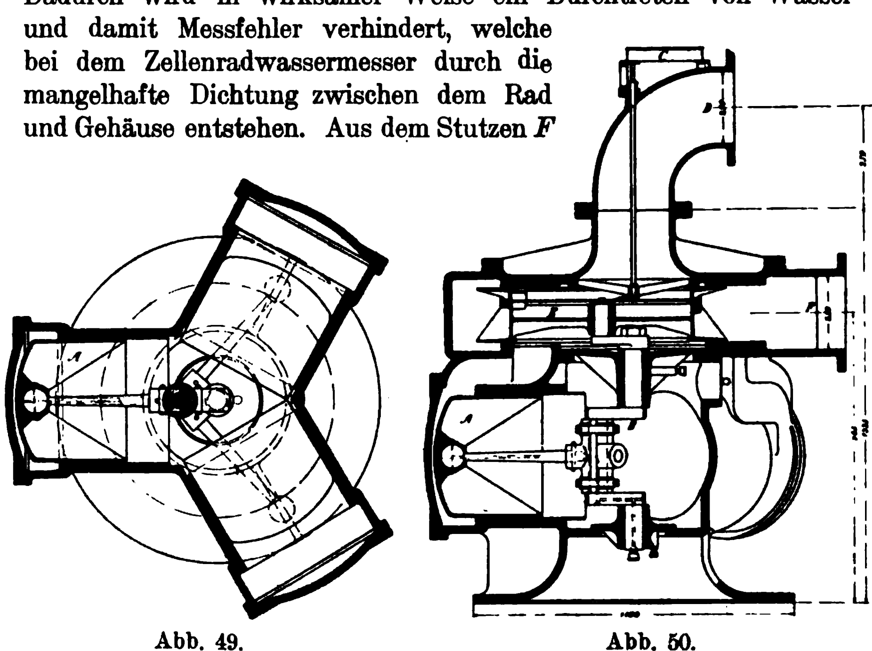


Abb. 49. Abb. 50.

tritt das gemessene Wasser in die Abfalleitung aus. Vor dem Messer ist ein kleines Bassin eingeschaltet, welches das Wasser zunächst vor dem Eintritt zur Ruhe kommen lässt.

Bei den auf dem Koloniaschacht der Zeche Mansfeld angestellten Versuchen wurde zunächst der ganze Inhalt des Bassins, welcher durch Ausliterung zu 260 cbm bestimmt war, in vier Teilmessungen durch den Apparat geschickt. Der Messer registrierte dabei 261,1 cbm, ergab also eine Differenz von 1,6 cbm oder 0,62 %. Bei dem zweiten Versuch wurden 256,5 cbm durch den Apparat gelassen, welcher dieselben vollkommen fehlerfrei anzeigte.[1])

[1]) Aus „Glückauf“ vom 20. Juni 1903.

III. Einteilung des Messprofils.

Das Wasser geht infolge seiner Reibung am Boden und an den Wänden des Bettes nicht mit gleicher Geschwindigkeit durch alle Punkte eines und desselben Profils hindurch, weshalb sich die Erhebung der mittleren Wassergeschwindigkeit nicht auf die Beobachtung an wenigen Stellen beschränken darf, wenn auf eine genaue Bestimmung der abgeflossenen Wassermenge — wie z. B. bei Prüfung von Wassermotoren — gerechnet werden soll.

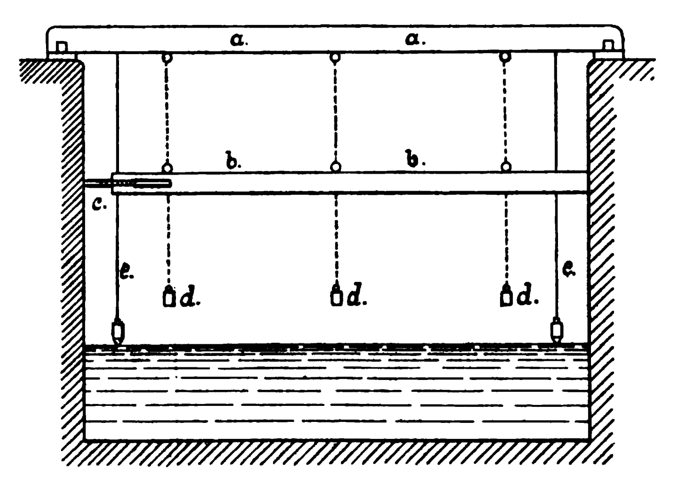


Abb. 51. *Vorrichtung zur Ermittelung des Rauminhalts des Messprofils nach Frese.*

Betrachtet man die Isotachen-Kurven (Verbindungslinien gleicher Wassergeschwindigkeit) eines Flusslaufes, so gleichen dieselben in ihrem unregelmässigen Verlauf etwa den Jahresringen eines Baumes. Je nach der Gestaltung des Flussbettes oder dem Verhältnis des benetzten Umfanges zur Querschnittsfläche des Wasserkörpers im Kanal befindet sich die grösste Wassergeschwindigkeit im sogenannten Stromstrich, bald unmittelbar an der Spiegelfläche, bald tiefer, bald in der Mitte, bald seitlich; jede Änderung der Wassertiefe oder des Zustandes des Bettes verschiebt die Lage der am raschesten fliessenden Schichten innerhalb des Gesamtprofils.

Die durch vorbezeichnete Ursachen bewirkte Verlegung des Ortes der grössten Geschwindigkeit ruft Gegenströmungen hervor, welche mit die Ursache der unregelmässig fortschreitenden pulsierenden Bewegung des Flusslaufes sind.

Eine Vorrichtung zur Ermittelung des Rauminhaltes des Messprofils kann in einem hochkant gestellten Brette (Abb. 51), an dem Ösen angebracht sind, durch welche Schnüre gezogen werden, bestehen. Das Brett wird über den auszumessenden Raum gebracht und die Vorrichtung so geregelt, dass die Spitzen angehängter Lote in die Höhe des Wasserspiegels fallen. Ferner wird eine einseitig mit Schiebermassstab *c* versehene Messlatte *b*, deren Eigengewicht durch Gegengewichte ausgeglichen wird, so aufgehängt, dass sie parallel in senkrechter Richtung mit Leichtigkeit sich verschieben lässt und in jeder Höhe feststeht. Die betreffenden Messungen haben in verschiedenen Höhenabständen stattzufinden, wodurch sich aus den so gewonnenen Zahlen und aus den Abstichen vom Messbrett auf die Sohle die Grösse der Querschnittsfläche mit grosser Genauigkeit ermitteln lässt.

Der Rauminhalt etwa vorhandener Vorsprünge oder Aussparungen in den Seitenwandungen wird besonders festgestellt.

Ist zur Vornahme der Arbeiten ein geeigneter Steg nicht vorhanden, so schlage man eine Messbrücke, die genügende Festigkeit und Sicherheit bietet. Bei Flüssen misst man die Spiegelbreite mit einem Messtische durch Ähnlichkeit von Dreiecken, zerlegt das Querprofil in einzelne senkrechte Streifen von 0,5 bis 1,0 bis 2,0 m Breite (Minimum $^1/_{20}$ der Wasserspiegelbreite) und beobachtet die Wassergeschwindigkeit in jeder Abteilung mit dem hydrometrischen Flügel oder mit der Frankschen Röhre.

Für die Messung ist es am vorteilhaftesten, wenn ein Profil ausgewählt werden kann, woselbst die Geschwindigkeit im Mittel nicht über 4 m und nicht unter 0,25 m in der Sekunde beträgt, das nicht in einer Krümmung liegt und beim Fortschreiten in der Richtung der Flussachse sich wenig ändert. Eine geringe Tiefe im Verhältnis zur Breite wirkt ungünstig auf die Zuverlässigkeit der Messung ein. Soll in einem von senkrechten Seitenwänden begrenzten Werkskanal die in einer Sekunde abfliessende Wassermenge gemessen werden, so ist in einer längeren geradlinigen Strecke des Kanals eine geeignete Messungsstelle auszuwählen und daselbst ein leichter Messungssteg rechtwinkelig zur Kanalrichtung herzustellen. Die Wasserspiegel- und Sohlenbreite des Kanals längs

der Stegkante wird bei Einteilung des Messprofils in eine gewisse Anzahl Zwischenabteilungen zerlegt, die Grenzen und ihre Mitten an der Stegöffnung durch Farbstift markiert, diese letzteren durch grosse Buchstaben in augenfälliger Weise bezeichnet und die Wassergeschwindigkeit für die Mitte jedes Feldes bestimmt. Multipliziert man die Fläche eines jeden Feldes (in Quadratmeter ausgedrückt) mit der zugehörigen Geschwindigkeit in Meter, so ist die Summe der Produkte die gesuchte Wassermenge in Kubikmeter. Dieses Verfahren gibt aber nur dann zuverlässige Resultate, wenn die Strömungsrichtung überall senkrecht zu dem untersuchten

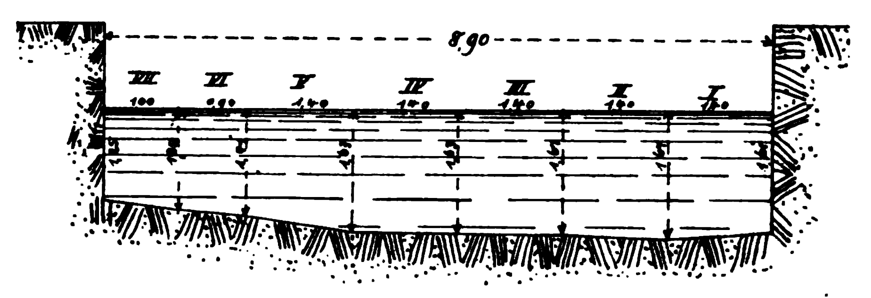


Abb. 52. *Einteilung des Messprofils.*

Profil ist. Strömt das Wasser schief gegen das Profilfeld, so erhält man nicht die Geschwindigkeit selbst, sondern ihre zum Profil senkrechte Komponente. Diese wird gefunden, entweder durch Bestimmung der absoluten Geschwindigkeit (indem man durch die Wirkung des Ruders den Flügel sich frei in die Strömungsrichtung einstellen lässt) und diese mit dem Cosinus des Winkels, welchen die Stromrichtung mit der Normalen des Profils bildet, multipliziert, oder aber, indem man die Flügelachse in einer zum Profil senkrechten Richtung festhält, in welchem Falle er direkt die gesuchte Komponente angibt. Die meisten Flügel sind auf letzteres Verfahren eingerichtet, da das erstgenannte praktisch nicht ausführbar ist; die Flügelachse ist deshalb in fester Richtung mit der Stange verbunden und das Ruder hat nur den Zweck, die Haltung der Stange zu erleichtern.

Der Einteilung des Messprofiles (Abb. 52) hat eine vorläufige Untersuchung des Durchflussquerschnittes vorauszugehen, um einen Einblick in die Strömungsverhältnisse zu gewinnen. Findet eine regelmässige Wasserbewegung statt, so können die Abstände der Lotrechten grösser gewählt werden, als bei ungleichförmiger

Bewegung, auch die Beschaffenheit der Sohle — ob durchaus eben oder ungleich — wirkt bestimmend hierauf ein. In allen Fällen sollten die einzelnen Abstände nicht mehr als $^1/_8$ bis $^1/_{12}$ der Gesamtbreite betragen.

Die Lage der Messpunkte untereinander, d. h. der lotrechte Abstand derselben, hängt von der Wassertiefe und vom Kreisdurchmesser des Flügelrades ab. Kleine Schaufeln ergeben weniger zuverlässige Resultate, auch bedingen sie kürzere Abstände der Messpunkte als grosse Flügel. Die Wahl der Flügelformen lässt sich aus Tabelle VI S. 68 für die verschiedenen Geschwindigkeiten leicht treffen.

Um die Querschnittsflächen der einzelnen Abteilungen, welche ihrer Form nach als Rechtecke zu betrachten sind, genau zu erhalten, werden die Wassertiefen durch Abstiche auf den Oberwasserspiegel zweimal gemessen und zwar vor Beginn und nach Beendigung einer jeden Beobachtungsreihe, um den in der Zwischenzeit etwa eingetretenen Wasserstandsänderungen Rechnung zu tragen. Die zu Mittelwerten vereinigten Tiefenmasse sind in die Skizze der einzelnen Abteilungen einzutragen; aus diesen Massen berechnen sich die enthaltenen Querschnittsflächen.

Mit Rücksicht auf die in der Flügelbewegung vorkommenden Störungen und unvermeidlichen Messungsfehler darf man sich niemals mit einem einzigen Wert für n in der Flügelgleichung begnügen. Man wird vielmehr in der Regel zwei bis drei solcher Werte beobachten. Stimmen dieselben bis auf einige Einheiten überein, so ist ein Mittelwert daraus zu bilden und in die weitere Rechnung einzuführen. Treten grössere Unterschiede auf, so hat man die Ursache der Störung zu ermitteln und die abweichenden Werte von weiterer Verwendung auszuschliessen. Die Geschwindigkeitsmessungen in den einzelnen Abteilungen wird man am besten in Punkten von verschiedener Tieflage, welche einer in der Abteilungsmitte liegenden Lotrechten angehören, vornehmen, da die Geschwindigkeit vom Wasserspiegel an (in dessen Nähe sie am grössten ist) nach der Sohle zu nicht unbeträchtlich abnimmt. Aus den in jeder Lotrechten gefundenen verschiedenen Geschwindigkeitswerten lässt sich dann näherungsweise durch Mittelbildung oder schärfer durch Konstruktion einer die Geschwindigkeitswerte als Ordinaten, die Tiefenmasse der Messungspunkte als Abszissen enthaltenden Kurve, die mittlere Wassergeschwindigkeit in jeder Profilabteilung herleiten.

Die Wassermengemessungen, welche zur Feststellung des Nutzeffektes von hydraulischen Motoren erforderlich sind, finden in der Regel in einem Profil vor oder hinter der Schütze des Wassermotors statt. Die Lage des Messprofils lässt unter diesen Umständen einen unregelmässigen Wasserdurchfluss vermuten, da z. B. gewisse Systeme von Turbinen das Wasser mehr seitlich einziehen, und es überhaupt keine natürlichen vollkommen gleichförmigen Wasserströmungen gibt. Die Beobachtungsvertikalen müssen deshalb in solchen Abständen ausgesteckt sein, dass die Geschwindigkeitsbestimmungen ein möglichst genaues Bild des Bewegungsvorganges ergeben. Eine zeichnerische Darstellung der Wassermengen im Zusammenhang mit den Flügelbewegungen verschafft den besten Einblick in den jeweiligen Zustand des Betriebes.

Die Gewinnung brauchbarer Messungsergebnisse bei Benutzung des hydrometrischen Flügels stützt sich auf sorgfältige und ausgiebige Beobachtungen und Versuche und hängt ab von der Zuverlässigkeit der Konstanten des Instrumentes bei verschiedenen Geschwindigkeiten, von der Genauigkeit der Ausmessung des Profils, wie auch von der mehr oder weniger grossen Regelmässigkeit des Wasserlaufes selbst.

Über Anzahl und Lage der Beobachtungspunkte, in welchen gemessen werden soll, gibt die technische Literatur nur spärliche Aufschlüsse, insbesondere findet die Beeinflussung der Wasserbewegung durch die in der Nähe des Messprofils etwa befindlichen Motoren meist keine Berücksichtigung. Die Beobachtungen mit dem Flügel erfordern stets eine längere Zeitdauer, während welcher der Strömungszustand durch Änderungen in der Führung des Motors und des auf denselben wirkenden Gefälles, somit der Wassergeschwindigkeit in den Messpunkten selbst einem fortwährenden Wechsel unterworfen sein kann.

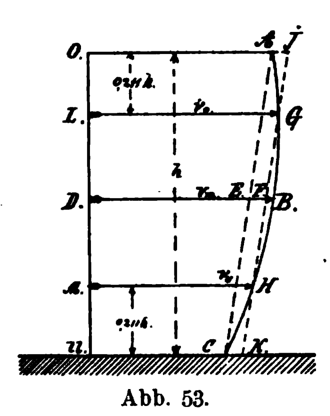
Die von Professor Teichmann angegebene Methode[1]) der Wassermengemessung für rechteckige Profile braucht für die Ermittelung der mittleren Geschwindigkeit nur die Messung in vier bestimmten Punkten desselben und beruht auf der Voraussetzung, dass die Abnahme der Wassergeschwindigkeit von oben nach unten und von der Mitte nach beiden Ufern hin nach dem Parabelgesetz erfolge. Die Lage der betreffenden vier Messpunkte ist aus Abb. 53 und 54 zu ersehen.

---

[1]) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1883.

Es bezeichne die Senkrechte OU die Wassertiefe t (Abb. 53) an einer Stelle des Kanals, die den verschiedenen Tiefen entsprechenden Wassergeschwindigkeiten sind senkrecht zu OU aufgetragen und ergeben die Geschwindigkeitskurve ABC, welche als Parabel angesehen wird.

Die Fläche des Parabelsegments ist $= \frac{2}{3}$ des umschriebenen Parallelogrammes. Mache $EF = \frac{2}{3}\, EB$ und ziehe durch F eine Parallele zu AC, so ist Trapez $OIKU$ = Geschwindigkeitsfläche $OABCU$ und $DF = v_m$ die mittlere Geschwindigkeit in der Senkrechten OU. Die Punkte G und H, in welchen JK die Parabel schneidet, sind vom Wasserspiegel und von der Kanalsohle um 0,211 t entfernt. (Abb. 53 bis 55.)


Abb. 53.

Die mittlere Geschwindigkeit ergibt sich als arithmetrisches Mittel aus den vier beobachteten Geschwindigkeiten

$$v_m = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + v_4}{4}.$$

Diese Methode ist für rechteckige Profile wohl wesentlich einfacher als die gebräuchliche der Feldereinteilung und soll mindestens ebenso genau als diese sein, doch sind gewichtige Bedenken gegen die Zuverlässigkeit derselben geltend gemacht worden. Einesteils ist die Voraussetzung nicht zutreffend, dass die Geschwindigkeiten in den verschiedenen Schichten und in der Breite genau bestimmten Gesetzen folgen, weil kein konstanter Strömungszustand vorhanden ist; andererseits ergeben sich meistens zu kleine Wassermengen, da die nahe am Rand gelegenen Punkte für das Resultat ein Übergewicht über die mittleren Punkte bekommen. Über die Wasserbewegung nach dem Parabelgesetz sind die Hydrauliker heute gleichfals weniger einig, als früher. Es dürfte empfehlenswert sein, die Lage der Messpunkte, in welchen die Geschwindigkeiten beobachtet werden sollen, nach der Harlacherschen oder nach der Integriermethode festzustellen.

Auch für gegrabene Kanäle mit trapezförmigem Profil soll die Teichmannsche Methode noch brauchbar sein, wenn man dasselbe in ein Rechteck und zwei Dreiecke zerlegt. Für das erstere bestimmt man dann die mittlere Geschwindigkeit wie oben angegeben, während sie für die Dreiecke im Schwerpunkt

derselben liegt. Man hat also die Geschwindigkeit in sechs Punkten zu messen, wie in Abb. 55 angedeutet ist.

Hier springt der gemachte Fehler noch mehr in die Augen weil durch diese Dreiecke überhaupt nur wenig Wasser fliesst.

Beispiel: Zwei Doppelkranz-Turbinen mit Überdruck (System Jonval) ins Unterwasser tauchend, treiben mittels konischer Räder eine liegende Hauptwelle, mit welcher die Primärdynamo für elektrische Arbeitsübertragung direkt gekuppelt ist. Das Übersetzungsverhältnis der Winkelräder ist 200 : 38, die normale Geschwindigkeit

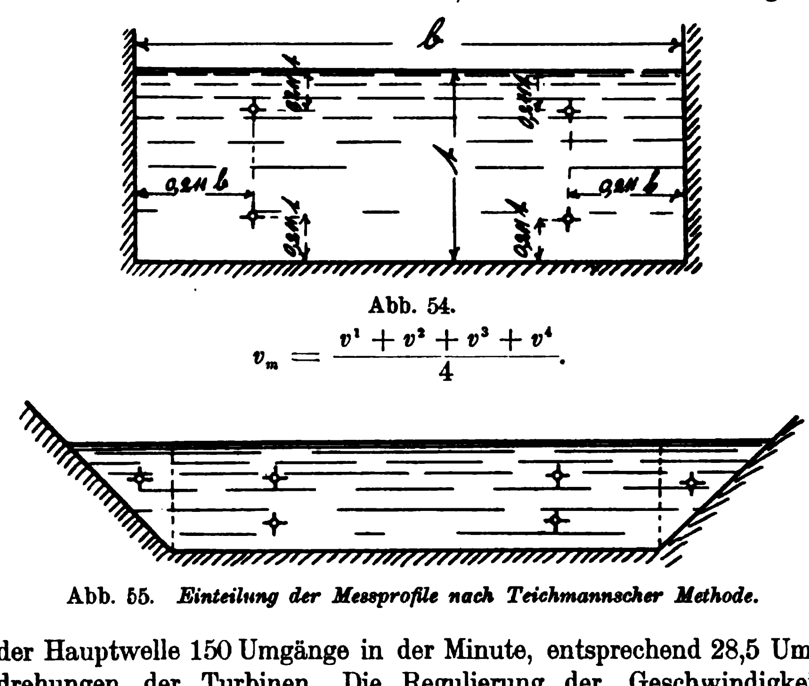


Abb. 54.

$$v_m = \frac{v^1 + v^2 + v^3 + v^4}{4}.$$

Abb. 55. *Einteilung der Messprofile nach Teichmannscher Methode.*

der Hauptwelle 150 Umgänge in der Minute, entsprechend 28,5 Umdrehungen der Turbinen. Die Regulierung der Geschwindigkeit geschieht selbsttätig durch einen indirekt wirkenden Regulator, der eine Drosselung des Aussenkranzes bewirkt, derselbe wurde während der Messungen nicht benutzt, sondern der Aussenkranz immer ganz „offen“ erhalten, soweit es die Drehschieber gestatteten. Zur Regulierung des Wasserverbrauches dienen acht Schieber, welche je $^1/_8$ des Innenkranzes vollständig abschliessen. Die Messungen wurden an der im Sinne des Wasserlaufes linksseitigen Turbine gemacht.

Die Messung des Effektes geschah mittels eines auf der Transmissionswelle angebrachten Pronyschen Bremsapparates,

dessen 3,354 m langer Hebel mittels Druckstütze auf die grosse Schale einer Dezimalwage drückte. Zur Ausgleichung des Eigengewichtes war eine Tara von 12,9 kg auf der kleinen Schale nötig. Die Kuppelung der Dynamo wurde vollständig gelöst und bei den Versuchen die rechte Turbine durch Zurückschieben des konischen Getriebes ausgerückt.

Zur Messung des Gefälles waren Marken angebracht für den Oberwasserspiegel hinter dem Rechen und für den Unterwasserspiegel an der linksseitigen Mauer des Abflusskanals, die Höhenlage derselben gegen die an der oberen Seite des Fabrikgebäudes befindliche Aichklamme wurde durch Nivellement festgestellt. Die Wasserstände wurden alle fünf Minuten abgelesen und danach die Gefälle nötigenfalls durch Einschaltung zwischen die beobachteten Wasserstände ermittelt.

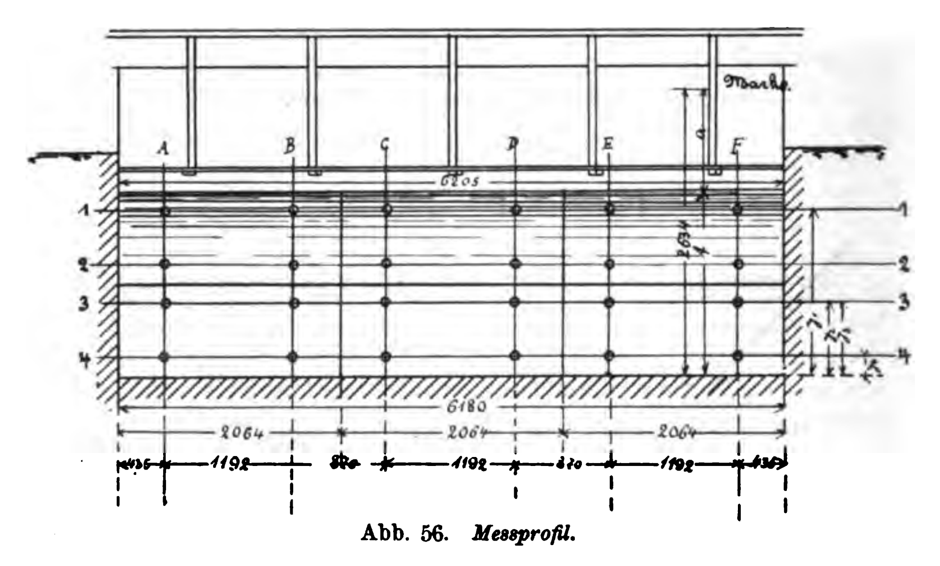


Abb. 56. *Messprofil.*

Die von der Turbine verbrauchte Wassermenge wurde durch Messung der Wassergeschwindigkeit in dem rechteckigen Durchschnitt zwischen Turbine und Einlassfalle bestimmt, es wurde am Gebälk des Turbinenbodens eine leichte Messbrücke aufgehängt, von welcher aus das Profil ziemlich bequem zugänglich war. Das oben 6,205 m, unten 6,180 m, im Mittel 6,192 m breite und etwa 1,70 m tiefe Profil wurde in der aus Abb. 56 ersichtlichen Weise durch eine Horizontale und zwei Vertikalen in sechs gleiche Felder eingeteilt, in jedem Feld Messpunkte angenommen, so dass nach

dem am Kopfe der Tabelle VIII angedeuteten Gesetz das Mittel aus den Geschwindigkeiten der vier Messpunkte mit grösster Annäherung der mittleren Geschwindigkeit des Feldes gleichkommt.

In diesen Punkten wurden die Wassergeschwindigkeiten mittels eines Woltmannschen Flügels von Amsler in Schaffhausen gemessen, dessen Koeffizienten

$$v = 0{,}017 + 0{,}00472\ n$$

sind. Bei der grossen Zahl von 24 Punkten wurde in jedem Punkt von dem Experimentator nur eine Beobachtung gemacht. Das Resultat dieser Wassermessung (siehe Tabelle VIII) war, dass der Aussenkranz der Turbine bei einem mittleren Gefälle von $H = 1{,}620$ m

$$Q = 5{,}476 \text{ cbm in der Sekunde}$$

verarbeitete.

Da die ungünstige Lage des Messprofils einen unregelmässigen Wasserdurchfluss durch das Profil vermuten liess, so wurden für die Flügelbeobachtungen einer späteren Versuchsreihe acht Lotrechte in Abständen ausgesteckt, wie dieselben aus Tafel I des Messprofils ersichtlich sind. In diesen Lotrechten fanden die Flügelbeobachtungen in Abständen von 200 bis 300 mm statt, und es wurde bei jeder Einstellung von einem zweiten Experimentator die Zeit für 100 Flügelumdrehungen mindestens zweimal beobachtet. Die Konstanten des benutzten hydrometrischen Flügels von Amsler in Schaffhausen sind in der Versuchsstation genannter Firma kurz vorher bestimmt worden. (Vgl. Seite 76.)

Das Hauptresultat dieses Versuches war:

Bei einem Gefälle von $H_1 = 1{,}594$ m verschluckte der allein aber voll beaufschlagte Aussenkranz der Turbine eine Wassermenge von

$$Q_1 = 4{,}56 \text{ cbm in der Sekunde.}$$

Um dieses Ergebnis mit dem erstgefundenen zu vergleichen, sind die Resultate auf ein gemeinschaftliches Gefälle zu reduzieren nach dem Gesetze, dass sich die Geschwindigkeiten und Wassermengen wie die Quadratwurzeln, die Effekte wie die 1,5ten Potenzen, des Gefälles ändern, somit

$$\begin{aligned} Q_1 : Q &= \sqrt{H_1} : \sqrt{H} \\ &= \sqrt{1{,}594} : \sqrt{1{,}76} \\ &= 1{,}262 : 1{,}326 \\ &= 4{,}56 : 5{,}215 \text{ cbm in der Sekunde.} \end{aligned}$$

Tabelle VIII.

Beobachter .... Datum ....

Wenn $y_0 = \frac{t}{2}\left(1+\sqrt{\frac{1}{3}}\right) = 0{,}789\,t$, $y_u = \frac{t}{2}\left(1-\sqrt{\frac{1}{3}}\right) = 0{,}211\,t$,

so ist $F = \frac{t}{2}\,(v_0 + v_u)$.

Wassermessung. (Turbine links. Aussenkranz.)

Beginn der einzelnen Messung	Messpunkt	Wasserstand	Wassertiefe t	Ordinate y	Der Zählung: Dauer Sekunden	Anfangsablesung	Endablesung	Ergebnis	Flügelumgänge pro Minute	Bemerkungen
12.19		858	1,776	19						
12.20	A 4				60	575	697	122		
12.22	B 4						797	100		
12.25	C 4						907	110		
12.28	D 4						999	92		
12.30	E 4						86	87		
12.32	F 4						148	62		
12.33		902	1,732	68						
12.37	A 3				60	148	262	114		
12.40	B 3						376	114		
12.41	C 3						479	103		
12.43	D 3						586	107		
12.45	E 3						675	89		
12.47	F 3						739	64		
12.48		946	1,688	102						
12.51	A 2				60	739	854	115		
12.53	B 2						977	123		
12.55	C 2						100	123		
12.57	D 2						236	136		
12.58½	E 2						360	124		
1.00	F 2						450	90		
1.02		986	1,648	147						
1.06	A 1				60	450	563	113		
1.07½	B 1						669	106		
1.09	C 1						787	118		
1.11	D 1						914	127		
1.13	E 1						36	122		
1.14½	F 1						151	115		
1.16		1020	1,614				2576	2576		
Mittel		943	1,691						107,3	

Durchflussquerschnitt: $F = b \cdot t = 6{,}192 \cdot 1{,}691 = 10{,}471$ qm.
Mittlere Durchflussgeschwindigkeit: $v = 0{,}017 + 0{,}00472 \cdot n = 0{,}523$ m/sec.
Wassermenge: $Q = F \cdot v = 10{,}471 \cdot 0{,}523 = 5{,}476$ cbm/sec.

Die Reduktion auf das nämliche Gefälle ergibt für die erste Wassermengemessung $Q_r = 5{,}215$ cbm in der Sekunde, daher gegen die frühere Beobachtung eine Differenz von 5 %. Letztere erklärt sich teilweise aus dem Umstande, dass die Geschwindigkeit der Turbine in beiden Fällen nicht genau die gleiche war, das Verhältnis derselben ist aus der Tourenzahl der Vorgelegewelle beobachtet und auf das nämliche Gefälle reduziert.

$$n_1 : n = 24 : 25{,}2 \text{ in der Minute.}$$

Dieselbe war somit bei den beiden Versuchen um rund 4,8 % verschieden. —

Ändert sich bei Bremsproben zur Bestimmung des hydraulischen Nutzeffektes während des Versuches das Gefälle, so stellen sich zur selben Zeit meistens im Untergraben Unregelmässigkeiten ein, welche die Werte der Wassermengemessung als fraglich erscheinen lassen, weshalb auch bei Berechnung der vom Motor verbrauchten Wassermenge hierauf Rücksicht genommen werden muss. Bei Anstellung derartiger Versuche darf die Messung der Wassergeschwindigkeit nicht zwischen Motor und Einlassfalle vorgenommen werden, weil der Wassereintritt z. B. in eine Turbine nicht überall gleichmässig erfolgt, vielmehr der Einzug bei offenen Wasserkammern an einer Seite stärker und zwar im Sinne der Drehrichtung des Laufrades stattfindet.

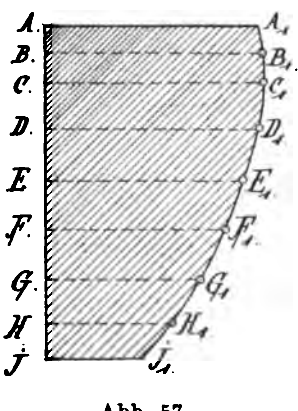


Abb. 57.

Die mehrfach empfohlene Integriermethode ist entweder mittels einer Vertikalführung, System Eger, oder der Aufhänge-Vorrichtung nach Amsler-Laffon durchzuführen. Steht eine solche Einrichtung am Instrument nicht zur Verfügung, so kann die Methode durch nachstehende ersetzt werden.

Nach der Erfahrung liegt bei Windstille die grösste Geschwindigkeit etwa 0,1 bis 0,3 m je nach der vorhandenen Wassertiefe, unter der Oberfläche, es dürfte deshalb besonders darauf ankommen, die Wassergeschwindigkeiten im Scheitel der Kurve $A_1\ J_1$ (Abb. 57) möglichst genau zu bestimmen. Arbeitet man beispielsweise mit einem Instrument, dessen Schaufeldurchmesser 20 cm beträgt, so ist der erste Messpunkt $h_0 = 0{,}1$ m unter der Spiegelfläche zu

wählen. Die Beobachtung an dieser Stelle ergibt den Mittelwert der Geschwindigkeit der Wasserfäden vom Wasserspiegel bis zu 0,2 m Tiefe. Im Abstand $h_1 = 0{,}30$ m unter der Oberfläche hat, um unabhängig vom Wind zu sein, die zweite Beobachtung zu erfolgen, wodurch die durchschnittliche Geschwindigkeit bis auf 0,4 m Tiefe ermittelt ist. Durch Senken der Flügelachse auf $h_2 = 0{,}5$ m, lässt sich aus diesen Messungen der Verlauf der Kurve bereits deutlich erkennen, so dass es in den meisten Fällen nur noch einer letzten Messung in der Nähe der Flusssohle bedarf zur Festlegung der ganzen Kurve der Wasserbewegung.

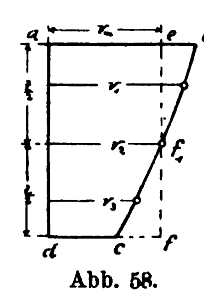


Abb. 58.

Die Lage des untersten Punktes wird möglichst tief, für diesen Schaufeldurchmesser in einem Abstande von $h_u = 0{,}11$ bis 0,15 m von der Sohle, angenommen. Nach Aufzeichnung der Kurve ist zu erkennen, ob die gesamte Wasserbewegung annähernd nach einer gesetzmässigen Linie (Evolvente oder Parabel) oder nach einer unregelmässigen erfolgt.

Aus den Ergebnissen wird der Mittelwert genommen

$$v_m = \frac{v_1 + v_2 + v_3 \ldots . v_n}{n}$$

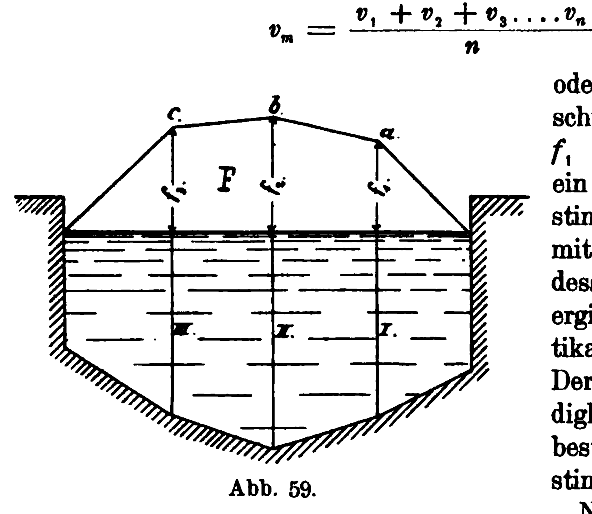


Abb. 59.

oder es wird die Geschwindigkeitskurve $b\ f_1\ c$ aufgetragen und ein Rechteck $a\,e\,f\,d$ bestimmt, dessen Inhalt mit dieser gleich ist, dessen Breite $a\,e = d\,f$ ergibt die mittlere Vertikalgeschwindigkeit. Der Inhalt der Geschwindigkeitsfläche wird am besten planimetrisch bestimmt.

Nach Harlachers graphischem Verfahren werden durch Planimetrieren von den Kurven die Flächen $f_1\ f_2\ f_3$ als Ordinaten in das Querprofil (Abb. 59) übertragen und so die erhaltenen Punkte $a\,b\,c$ miteinander verbunden, die Fläche F der „Wassermengenkurve" stellt die Wasser-

menge dar, welche sich in einer Sekunde durch die Messstelle vorschiebt.

Bei langsamfliessendem Wasser beobachte man in jedem Punkte 3 bis 5 Minuten und wiederhole das Verfahren 2 bis 3mal in jedem Punkt, in dem die Wassergeschwindigkeit gemessen werden soll, um unvermeidliche Beobachtungsfehler möglichst auszugleichen und vorkommende starke Abweichungen ausschliessen zu können. Zeigt sich beim Auftragen der Kurve eine Unregelmässigkeit des Durchflusses, welche durch häufige Schwankungen des Wasserspiegels — oder durch andere Ursachen — hervorgerufen werden kann, so hat eine Ausgleichungsrechnung stattzufinden.

Erschweren besondere Umstände die Wassermessung, so können aus den Messungsresultaten nur Grenzwerte angegeben werden, zwischen welchen die Grösse der wirklich durchgeflossenen Wassermenge liegen wird. Zur Feststellung dieser Grenzwerte werden die mittleren Wassergeschwindigkeiten in den einzelnen Lotrechten einmal mit Rücksicht auf sämtliche in derselben Reihe beobachteten Einzelgeschwindigkeiten bestimmt, weiter aber auch aus jenen Geschwindigkeitskurven gerechnet, die mit Ausschluss der unsicheren Beobachtungen zu konstruieren sind.

Die durch das Verfahren gefundenen mittleren Geschwindigkeitswerte in sämtlichen Abstufungen ergeben die tatsächlich nicht vorhandene, aber der weiteren Berechnung zu Grunde zu legende Durchschnittsgeschwindigkeit des Wasserkörpers.

Bei Messungen mit dem Flügel soll man nicht in gleichmässigen Abständen an einer Lotrechten die Umgangszahl der Schaufel ablesen, sondern analog dem Krümmungsgesetz der Kurve. Also da, wo die stärkste Krümmung liegt, müssen die meisten Beobachtungen gemacht, somit eine progressive Reihe für die Abstände der Messpunkte eingehalten werden.

Das vorteilhafteste wäre, wenn man mit einer einzigen Messung die mittlere Geschwindigkeit einer Senkrechten auf einmal bestimmen könnte.

Die von Harlacher angegebene mechanische Integration der Vertikalgeschwindigkeitskurve, d. h. die direkte Messung der mittleren Geschwindigkeit in einer Lotrechten, lässt sich mit dem Instrument dadurch ausführen, dass wir dasselbe mit konstanter Geschwindigkeit am Wasserspiegel bis zur Sohle oder umgekehrt bewegen und sowohl die Zeit t genau beobachten, welche

diese Bewegung erfordert, als die Anzahl n der Umgänge, welche der Flügel während derselben macht; denn in jedem Punkte der Lotrechten ist die Umdrehungsgeschwindigkeit des Flügels entsprechend der örtlichen Geschwindigkeit der Wasserfäden. Das Resultat ist, dass die Gesamtzahl der Umdrehungen gerade so gross wird, als wenn in allen Punkten der Lotrechten die mittlere Geschwindigkeit v_m geherrscht hätte. Indem wir v durch t dividieren, erhalten wir die mittlere sekundliche Umgangszahl, die uns sofort die mittlere Geschwindigkeit gibt. Es liegt auf der Hand, dass nur solche hydrometrische Flügel sich für das neue Verfahren eignen, bei welchen man mit der Zählung der Umdrehungen in einem beliebigen Zeitpunkte beginnen kann. Der Flügel mit Läutewerk ist also hierzu nicht tauglich; vielmehr ist ein Instrument mit Zeichengebung während jeder Umdrehung und Zählung der Touren mit dem Schreibapparat in Anwendung zu bringen. Aber auch der nicht elektrische oder der Flügel mit Zählrädern ist von Harlacher so konstruiert worden, dass man mit demselben die mittlere Geschwindigkeit in einer Lotrechten mittels einer einzigen Operation messen kann.

Dieses abgekürzte Verfahren, „das Integrieren", erfordert aber die Anbringung einer Windetrommel, um die gleichförmige Vertikalbewegung zu ermöglichen.

Der zweckmässigste Vorgang bei der Integration besteht darin, dass man das Instrument vom Wasserpiegel (Stellung A_1 [Abb. 60]) gleichförmig bis zur Sohle (Stellung B_2) senkt und ohne etwa auszurücken, das Instrument heraufzuziehen und abzulesen, dasselbe sofort wieder mit konstanter Geschwindigkeit heraufwindet und erst in dem Moment ausrückt, wo die Flügelachse in den Wasserspiegel gelangt ist. Vor Beginn der Beobachtung hatte man am Zählwerk abgelesen, dann das Instrument in die Stellung A_1 gebracht; auf ein gegebenes Zeichen erfolgt gleichzeitig die Senkung, das Einrücken der Zählscheiben und das Ingangsetzen des Sekundenzählers; in dem Augenblicke, wo die unten mit der Hülse des Flügels festverbundene runde Scheibe auf den Boden aufstösst, der Flügel also in die Lage B_2 gelangt ist, wird sofort mit der Hebung begonnen. Sobald das Instrument in die Stellung A_1 heraufgekommen ist, erfolgt gleichzeitig das Anhalten der Bewegung, das Ausrücken und das Arretieren des Sekundenzählers. Das Instrument wird alsdann genügend hoch über den Wasserspiegel heraufgezogen, um am Zählrad ablesen zu können. So erhält man

die Gesamtdauer der Senkung von A_1 nach B_2 und der unmittelbar darauf erfolgenden Hebung von B_2 nach A_1, sowie die Anzahl der Umdrehungen während dieser Zeit. Daraus ergibt sich sofort die mittlere sekundliche Umgangszahl und die mittlere Geschwindigkeit, allerdings nur auf eine Tiefe, die um c (aus der Abmessung der Schaufel als konstant anzunehmen) $= 0{,}1$ bis $0{,}15$ m geringer ist als die ganze Tiefe. (Abb. 61.)

Harlacher ist bei Einführung der mechanischen Integration der Vertikal-Geschwindigkeitskurve bezw. der direkten Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit in einer Lotrechten durch eine einzige Operation von dem Bestreben geleitet gewesen, die Wassermenge-Messungen abzukürzen und durch die Registrierung der einzelnen Umdrehungen mittels des Chronographen die pulsierende Bewegung des Wassers und die in einem und demselben Punkte eines Querprofils stattfindenden fortwährenden Änderungen der Geschwindigkeit zur Anschauung zu bringen.

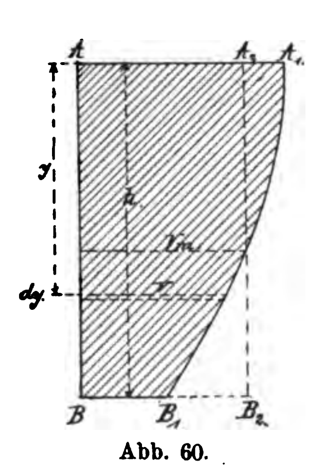


Abb. 60.

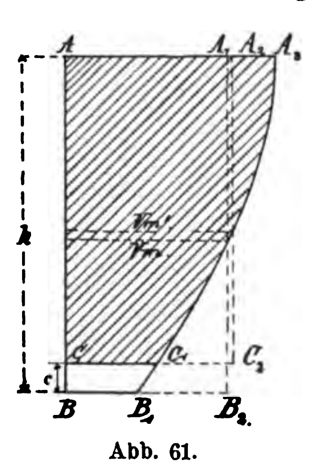


Abb. 61.

Während die wahre mittlere Geschwindigkeit gleich

$$v_m = \frac{A A_1 B B_1}{A B} = \int_0^h \frac{v\,dy}{h}$$

nach Abb. 60 angegeben wird, finden wir dagegen auf dem Wege der beschriebenen direkten Messung, bei welcher die Strecke

$$CB = c$$

der Lotrechten nicht durchfahren wird, folgende etwas grössere mittlere Geschwindigkeit

$$v'_m = \frac{A A_1 C C_1}{A C} = \int_0^{h-c} \frac{v\,dy}{h-c}.$$

Der Unterschied zwischen v_m und v'_m ist indessen sehr gering und zwar um so geringer, je grösser die Tiefe und je kleiner c ist.

Das direkt gefundene v'_m wird mit einem Koeffizienten zu multiplizieren sein, der etwas kleiner als 1 ist und dessen Grösse (da c konstant anzunehmen) nur von der Tiefe abhängt. Bei halbwegs grösseren Tiefen kann man von einer Korrektion absehen; wenn nicht, so wird man sich bei der Wahl von ξ in

$$v_m = \xi v''_m$$

an die Erfahrung anlehnen bezw. ξ empirisch bestimmen. Die Geschwindigkeitsbeobachtung in nur zwei Punkten einer Lotrechten (S. 104) erscheint somit nach dem Vorausgegangenen unzureichend, um einen Einblick in die Wasserbewegung zu gewinnen.

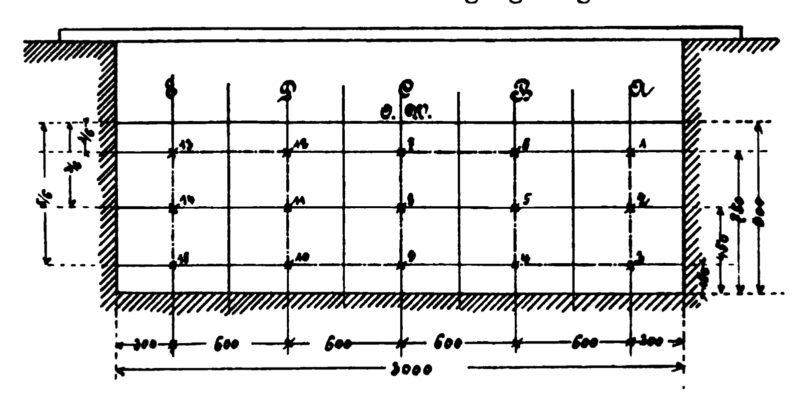


Abb. 62. *Vereinfachtes Messverfahren.*

Ein vereinfachtes Messverfahren mittels eines Flügels mit elektrischer Zeichengebung, das der Integriermethode nahekommt und verhältnismässig wenig Zeit in Anspruch nimmt, kann auf folgender Grundlage durchgeführt werden. Die Einteilung des Messquerschnitts (Abb. 62) besteht im Abstecken gleichmässig von der Mitte aus markierter Lotrechten, deren Abstand $^1/_5$ bis $^1/_8$ der Kanalbreite beträgt. Die Einstellung des Flügels für die Messpunkte der einzelnen Reihen erfolgt auf $^1/_6$, $^3/_6$ und $^5/_6$ der Wassertiefe. Das Feld wird von A nach E auf dem durch die gestrichelte Linie angedeuteten Wege durchfahren.

An der Flügelstange wird übereinstimmend mit der Tieflage der beiden oberen Punktreihen 1, 6, 7, 12, 13 und 2, 5, 8, 11, 14 je ein Stellring befestigt, der bei der Beobachtung der Wassergeschwindigkeit in der entsprechenden Tiefe mit seinem Rand am Messungsteg aufliegt. Für die untere Reihe: Punkte 3, 4, 9, 10 und 15 kommt die Stange auf die Kanalsohle zu stehen. Auf diese Weise

wird eine Verstellung des Flügels an der Stange und ein Zeitverlust während der Messung vermieden, da der Beobachter ohne Unterbrechung von einem Punkt zum andern und von einer Lotrechten zur benachbarten übergehen kann, ohne das Instrument aus dem Wasser nehmen zu müssen.

Für das skizzierte Messprofil (Abb. 62) lassen sich 15 Beobachtungen von je 2 Minuten Dauer innerhalb einer halben Stunde anstellen.

Vergleichung der verschiedenen Wassermessmethoden.

Hinsichtlich der Anwendbarkeit der in den vorhergehenden Abschnitten angegebenen Messverfahren fällt sofort in die Augen, dass die unmittelbaren Wassermessungen allerdings mehr für geringere Wassermengen geeignet sind, während bei grossen Wassermengen nur die indirekten Verfahren anwendbar erscheinen. Bis zu welcher Grenze aber die direkte Beobachtungsmethode noch ausführbar sei, lässt sich allgemein nicht angeben, indem örtliche Verhältnisse wesentlich ausschlaggebend einwirken; praktischer Blick und Übung werden stets das geeignetste Auskunftsmittel an die Hand geben.

Wollen die Methoden genauer miteinander verglichen werden, so können Einfachheit, Zuverlässigkeit, Leichtigkeit der Wiederholung und Prüfung, geringer Zeitaufwand als Vorzüge bezeichnet werden, wodurch sich die verschiedenen Verfahren unterscheiden.

In Bezug auf Unmittelbarkeit und Einfachheit ist das Aichverfahren in Messbehältern in den Vordergrund zu stellen, weil bei demselben die unvermeidlichen Beobachtungsfehler keinen zu bedeutenden Einfluss auf das Resultat haben können.

Von den Mündungen versprechen diejenigen mit vollkommener Kontraktion die sichersten Ergebnisse. Der Strahl verrät selbst, wenn etwas in der Herstellung der Mündung fehlerhaft ist, die Versuche sind einfach anzustellen, man bedarf dabei keiner Zeitbeobachtung. Bei Mündungen über die ganze Wand sind die Resultate weniger sicher, als bei vollkommener Kontraktion. Ein Vergleich zeigt noch, dass in demselben Mass wie die Ausflusskoeffizienten unsicherer werden, dieselben an Grösse wachsen; bei der unsichersten Beobachtungsweise (Ausfluss unter Wasser) hat man den grössten Ausflusskoeffizienten; bei der sichersten Methode (vollkommene und vollständige Kontraktion) ist derselbe am kleinsten.

Die einfachsten Tachometer sind jedenfalls die Schwimmer, sie haben den Vorzug, die Geschwindigkeit so unmittelbar als möglich anzugeben, auf ihre Nachteile ist bereits an betreffender Stelle hingewiesen worden. Die übrigen Instrumente bedürfen einer Tarierung, die mit Aufwand von Mühe und Zeit verbunden ist. Die Anwendung derselben macht eine weniger einfache Berechnung nötig. Durch die durchgreifenden Verbesserungen, die am hydrometrischen Flügel hauptsächlich nach dem Vorgang von Prof. Harlacher angebracht worden sind, ist diesem Instrument eine Vielseitigkeit der Verwendung verliehen worden, die es für die Beobachtung der Wassergeschwindigkeit selbst in grossen Strömen und bei beträchtlichen Tiefen noch geeignet macht. Durch vielfache Wiederholung kann man sich sehr zuverlässige Mittelwerte verschaffen.

Das Messprofil ist an einer solchen Stelle auszuwählen, woselbst auf eine bestimmte Strecke das Gefälle konstant ist und keine Beschleunigung stattfindet. In einem Bericht über eine Wassermessung sind stets genaue Angaben über die Verhältnisse an der Messstelle notwendig.

Was die Einteilung des Messprofils anbelangt, so sind hierüber bereits in Kapitel III besondere Angaben über das einzuhaltende Verfahren gemacht, eine allgemein giltige Regel lässt sich jedoch für die verschiedenen Fälle in der Praxis nicht aufstellen.

In jemehr Punkten gemessen wird, mit um so grösserer Wahrscheinlichkeit kann auf ein zuverlässiges Resultat gerechnet werden. Vor allem kommt es auf die Gleichmässigkeit der Wasserbewegung an der Beobachtungsstelle selbst an. In wichtigen Fällen sind Versuche anzustellen, um einen Einblick in den Betriebszustand zu gewinnen, weshalb eine vorläufige Probemessung vorauszugehen hat; auf Grund des Befundes bei derselben hat man bei Feststellung der Lage und Anzahl der Messpunkte Rücksicht zu nehmen. Nach Massgabe aller dieser örtlichen Umstände muss der Beobachter planmässig vorgehen.

Es ist bereits a. a. O. darauf hingewiesen worden, dass das Profil an einer Stelle markiert werden soll, woselbst der Flusslauf auf eine längere Strecke seine Richtung nicht ändert, eine möglichst gleichmässige Tiefe vorherrscht, ein günstiges Verhältnis zwischen Breite und Tiefe besteht (eine geringe Tiefe wirkt nachteilig auf die Gleichförmigkeit der Wasserbewegung ein) und keine Seitenströmungen stattfinden. Kanäle mit regelmässigem Querschnitt auf eine längere Strecke, ergeben die besten Resultate; werden starke

Abweichungen in den Geschwindigkeitswerten benachbarter Punkte beobachtet, so haben Zwischenmessungen stattzufinden. —

Bei Tarierung der Flügel ist zu beachten, dass die Konstantenwerte bei Geschwindigkeiten etwa zwischen 0,5 bis 2 m in der Sekunde wenig Veränderung erleiden, dagegen findet bei Geschwindigkeiten bis 3 m in der Sekunde und darüber eine Stauung des Wassers am Instrument statt, die besonders bei schmalen Versuchskanälen Unregelmässigkeiten in der Flügelbewegung bewirkt. Die Aichung sollte nur in tiefen und breiten Wasserbehältern erfolgen, um den Einfluss des Kanalwiderstandes zu vermeiden. Sobald die Spiegelfläche eine unruhige Bewegung anzeigt, werden die Resultate unzuverlässig.

Die auf ein Nivellement und eine Stromformel begründete Bestimmung der Geschwindigkeit ist mit einer Zeitersparnis verbunden, doch dürfte der unmittelbaren Beobachtung der Geschwindigkeit der Vorzug gebühren, da wir nach dem heutigen Standpunkt der Hydrotechnik über die Bewegung des Wassers in offenen Wasserläufen noch nicht genügende Einblicke gewonnen haben und von der Zukunft eine Besserung dieses Zustandes erwarten. Je regelmässiger übrigens ein Kanal angelegt ist, mit umsomehr Sicherheit wird man auch diese Methode anwenden können.

Geschichtlich von Wichtigkeit dürfte es sein, hervorzuheben, dass die Priorität der Erfindung des elektrischen Flügels J. Amsler-Laffon in Schaffhausen gebührt. Veranlasst durch Professor Moritz Rühlmann-Hannover hat Amsler den ersten Flügel mit elektrischer Zeichengebung gebaut, welche Konstruktion er an Professor Harlacher-Prag empfahl, der schon 1872 einen hydrometrischen Flügel von ihm bezog und in den Beiträgen zur Hydrographie des Königreichs Böhmen beschrieb. Im Jahre 1873 stellte Amsler einen elektrischen Flügel in Wien aus, seinen ersten Konstruktionen liess er bald vielfache Modifikationen nachfolgen, sie dienten zu Wassermessungen am Rhein, der Elbe, Weichsel, Donau, Wolga, Niagara, ferner in Schweden, Japan, China u. s. w.

Gefällsmesser.

Auf welche Zeitdauer sich eine Wassermessung auch erstrecken mag, stets hat eine Beobachtung des Spiegelgefälles gleichzeitig dabei nebenher zu gehen; bei langandauernden Messungen ändert sich das Gefälle in den meisten Fällen. Es bleibt stets ein wichtiger Faktor, das Gefälle beim Messprofil zu bestimmen, was

bei Berechnung der abgeflossenen Wassermenge von Seiten der Hydrotekten nicht immer nach seinem vollen Werte erkannt wird. Auch auf die Wirkung des Windes ist ein besonderes Augenmerk zu richten, da dieselbe den Bewegungszustand periodisch ändert.

Die Pitotsche Röhre kann nach Ausführungen von Amsler-Laffon mittels eines Zusatzapparates in einen Gefällsmessapparat umgeformt werden. Verfasser verdankt der Freundlichkeit des Herrn Dr. Alfred Amsler nachstehende Mitteilungen hierüber.

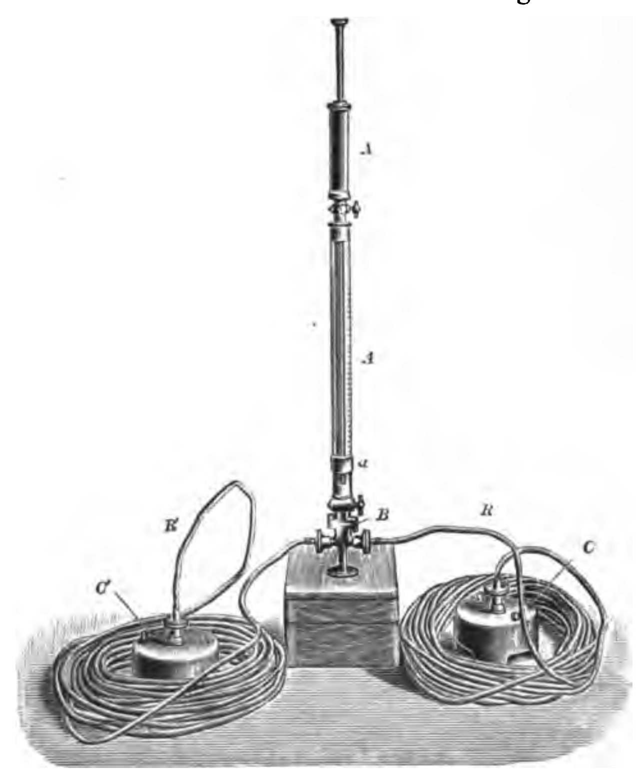


Abb. 63. *Gefällmessapparat (Amsler-Laffon).*

In Abb. 63 ist *A* der Ableseapparat der Pitotschen Röhre (oben mit der Saugpumpe *A'*). Unten wird der Kopf *B* angeschraubt, an welchen zwei Rohre (Bleirohre) *R*, *R'* angeschraubt sind, die am andern Ende an die gusseisernen Glocken *C*, *C'* anschliessen. Diese Glocken sind zum Aufhängen an Drahtschnüre beim Einsenken ins Wasser oben mit Ösen versehen.

Der Apparat wird am Ufer aufgestellt in der Mitte zwischen den

beiden Profilen I, II (Abb. 64), zwischen denen das Gefälle bestimmt werden soll. C, C' werden in diese Profile eingesenkt (am besten nahe an deren Mitte) und dann die Röhren an B angeschlossen. Nun saugt man das Wasser mittels der Pumpe A' an, bis es nahe an die Mitte der in A befindlichen durchsichtigen Röhren (die oben kommunizieren) steigt. Die Wasserstandshöhe in den beiden Röhren ist ungleich, in der an C anschliessenden etwas höher als in der an C' anschliessenden, nämlich um die Höhe h. Der Betrag des Gefälles von C bis C' kann mit Hilfe des Visiers a und der an A angebrachten Teilung bis auf 0,1 mm genau abgelesen werden. Man stellt a so auf die eine und dann auf die andere Wassersäule

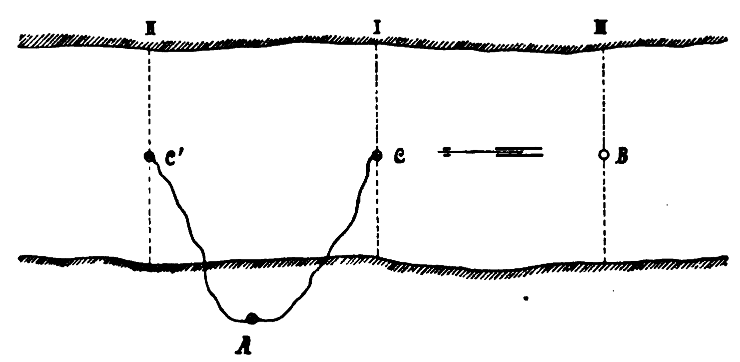


Abb. 64. *Gefällsmesser (Amsler-Laffon).*

ein, dass die über die Oberkante von a gehende Visierlinie den tiefsten Teil der Wasserkuppe streift. (Die Höhe h ist die Differenz der hydrostatischen Drucke im Wasserspiegel bei C und C', unabhängig von der Wellenbewegung an der Oberfläche.)

Man kann nun C' in ein drittes Profil III einsenken, dessen Entfernung von I gleich ist der Entfernung von I und II. Die nun ermittelte Gefällsdifferenz sei h. Findet sich $h = h'$, so ist das Gefälle von III bis I konstant und in diesem Falle eignet sich Profil I zu einer Wassermessung, welche auch zur Ableitung einer Formel dienen kann, um die Abhängigkeit von Wassergeschwindigkeiten, Gefälle und Profilgestaltung darzustellen. Fast alle bekannten Abflussformeln sind unbrauchbar, weil sie sich auf Messungen stützen, bei welchen nicht untersucht wurde, ob nicht im Messungsprofil eine Beschleunigung stattfand. Für Aufstellung einer solchen Formel muss das Gefälle auf eine möglichst lange Strecke bestimmt werden, innerhalb welcher das Gefälle als konstant nachgewiesen worden ist.

Um das Ansammeln von Luftblasen in den Röhren zu verhindern, kann man vor der Beobachtung der Wassersäulen ein ziemliches Wasserquantum durch die Pumpe A' fortpumpen bis keine Luftblasen mehr aufsteigen, dann durch Öffnung des Hahnes der Pumpe wieder Luft eintreten lassen, bis der Wasserstand annähernd die Mitte der Röhren in A erreicht hat.

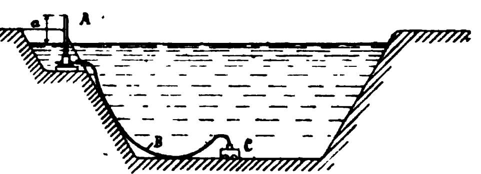


Abb. 66. *Gefällsmesser (Amsler-Laffon).*

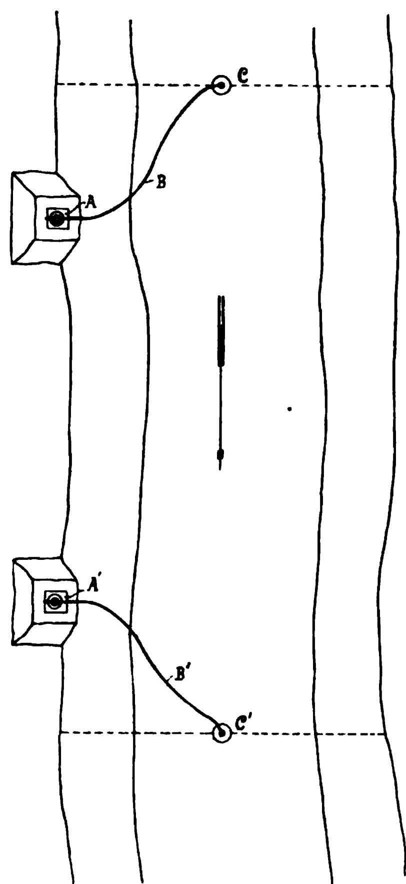


Abb. 65. *Gefällsmesser (Amsler-Laffon).*

Bei grossen Strömungen sind die Wasserspiegelhöhen an beiden Ufern nicht gleich, der Fluss zeigt kein horizontales Niveau, die Differenz kann 10—20 cm betragen.

Soll die Höhendifferenz zweier beliebig weit voneinander entfernten Punkte C C' des Wasserspiegels (Abb. 65) genau bestimmt werden, so kann das gleichfalls unter Anwendung des Gefällmessers und eines Zusatzapparates geschehen.

Man senkt die Glocken in C C' ein und führt die damit verbundenen Bleiröhren B B' ans Ufer, wo sie an Gefässe A A' angeschlossen werden (wobei dafür zu sorgen ist, dass die Luft aus den Röhren ausgetrieben wird). Die Gefässe werden am Ufer so tief eingesenkt, dass der mittlere Wasserspiegel etwa deren halbe Höhe erreicht. Das Niveau a in A entspricht genau dem mittleren Niveau in C (unbeeinflusst von der Wellenbewegung an der Oberfläche). Man bestimmt nun mittels eines Nivellierinstrumentes die Höhendifferenz der Oberkanten von A und A' und fügt dazu noch die Differenz der Abstände A a und A' a' der Wasserspiegel a und a' von A und A'. (Abb. 66.)

IV. Pegelbeobachtungen.

Infolge der nie ganz zuverlässigen Ermittelung des Höhenunterschiedes zwischen zwei Punkten mittels gewöhnlicher Massstäbe und Latten muss bei Wassermengebestimmungen die geometrische Vermessungsweise zu Hilfe genommen werden. Bei grösserer Breite und Tiefe eines Wasserlaufes ist ohne Nivellement überhaupt nicht auszukommen, aber auch schon unter kleineren Verhältnissen ist — um den Anforderungen wissenschaftlicher Genauigkeit zu genügen — diese Methode angebracht.

Sorgfältige Aufnahme der Höhenkoten, d. h. aller durch Messung nach Lage und absoluter Höhe bestimmten Punkte, bildet die erste rechnerische Grundlage bei einer Wassermessung, weshalb in unmittelbarer Nähe der Profilfläche unverrückbare Pegel, deren Nullpunkte durch wiederholtes Nivellement auf ihre Genauigkeit untersucht sind, angebracht werden müssen.

Dem Wasserkörper im Messprofil ist eine längere gute seitliche Führung — falls eine solche nicht vorhanden ist — zu geben, damit Nebenströmungen nicht auf die regelmässige Wasserbewegung störend einwirken können. Ist nach der Lage der örtlichen Verhältnisse eine Störung der Gleichförmigkeit zu erwarten, so wird durch ausreichende Zubauten (Holzwände) dieser Übelstand zu beseitigen gesucht.

Während der Dauer der Versuche (Messung) ist in regelmässigen Zwischenräumen (3 bis 5 Minuten) der Wasserstand abzulesen und mit Zeitangabe in eine Übersicht einzutragen.

Um diesen Teil der Rechnungsgrundlagen zuverlässig zu gestalten, werden selbstregistrierende Pegel verwendet, deren Schwimmer in Holzkasten eingesetzt, seitlich möglichst dicht an der Abschlusswand befestigt und mit dem ruhigen Wasserspiegel in Verbindung gebracht sind.

Prof. Frese bediente sich bei den Herrenhäuser Versuchen zur genauen Beobachtung der Wasserspiegel eines Schwimmers, der aus einem Zinkblechzylinder *a* von 300 mm Durchmesser, 350 mm Höhe bestand (Abb. 67 Fig. 1—5), mit einer Richtungsstange *b* von Quadrateisen versehen war und sich in einem vierkantigen Holzkasten *c* mit durchlöchertem Blechboden bewegte. Rollenführungen d d_1 waren unten an der Schwimmerstange, oben in dem Kasten angebracht. Zur Sicherung eines durchaus leichten Ganges liefen die Führungsrollen zwischen

Fig. 4 und 5: Oberwasser-Schwimmer.

Fig. 3: Versuchsuhr mit elektrischer Ein- und Ausrückung durch Messbehälter-Schwimmer.

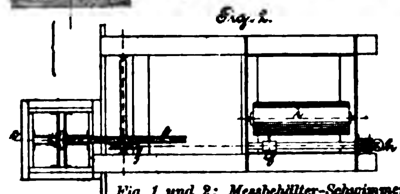


Fig. 1 und 2: Messbehälter-Schwimmer.

Abb. 67. *Messgeräte von Prof. Frese.*

Spitzen. Ausser dem Zeiger *f* und dem Massstab *g* war ein Schreibwerk angebracht, um die Veränderungen des Oberwasserspiegels während des Versuches selbsttätig zu verzeichnen. Das

zugehörige Uhrwerk hatte eine solche Einrichtung, dass nach Belieben die Papiertrommel in 5 bezw. 30 Minuten eine Umdrehung macht; bei Versuchen, die weniger als 5 Minuten dauerten, wurde der erste, bei länger währenden der zweite Gang benutzt.

Der Messbehälterschwimmer hatte im wesentlichen eine ähnliche Einrichtung. Der Schwimmerkasten war auf etwa 0,5 m Höhe mit grobem Kies gefüllt, um die Wasserbewegung im Innern des Kastens zu einer ruhigen und gleichmässigen zu machen, der beabsichtigte Zweck wurde auch vollständig erreicht, denn selbst bei den stärksten Wasserabflüssen am Überfalle stieg der Schwimmer immer sanft und stetig aufwärts. Die Schwimmerbewegung wurde in fünffach verkleinertem Massstabe auf das Schreibwerk übertragen; zu dem Zwecke waren an den Umfängen der beiden auf einer in Spitzen laufenden Welle angebrachten Gusseisenscheiben *e* und *f*, deren Durchmesser sich wie 5 : 1 verhielten, dünne Stahlbänder befestigt, deren andere Enden einerseits mit der Schwimmerstange und andererseits mit dem Schlitten *g* verbunden waren. Die Bänder wurden durch das Gegengewicht *h* in steter Spannung erhalten, so dass sich während der Füllung des Messbehälters der Schlitten unter Einwirkung des Gegengewichtes entsprechend dem Steigen des Schwimmers vorwärts bewegte. In dem Schlitten war eine Reissfeder gelagert, welche auf der durch Uhrwerk betriebenen mit Papier bespannten Walze *i* eine Linie als bleibendes Bild über den Verlauf des Versuches verzeichnete. Die Walze hatte einen Umfang von 600 mm und machte in 5 Minuten eine Umdrehung, so dass in 1 Sekunde ein Weg von 2 mm am Umfange zurückgelegt wurde. Zum Beobachter der ganzen Versuchszeit, deren Genauigkeit von grosser Wichtigkeit ist, wurde,

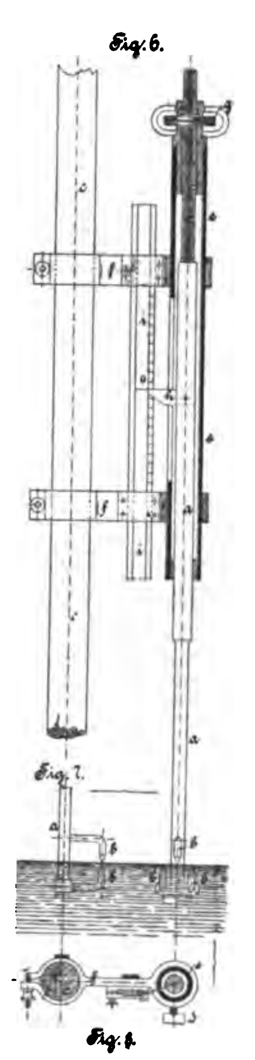


Fig. 6 bis 8: Vorrichtung zum Beobachten geringer Veränderungen des Wasserstandes.

Abb. 68.
Messgeräte von Prof. Frese.

um Fehler möglichst auszuschliessen mit Umgehung von Glockensignalen und der Tätigkeit eines Beobachters, die Versuchsuhr unmittelbar von dem Schwimmer aus auf elektrischem Wege in und ausser Gang gesetzt.

Die Vorrichtung zum genauen Beobachten geringer Veränderungen des Wasserstandes, von denen eine im Zulaufkanal, eine im Messbehälter angebracht war, hatte die in Abb. 68, Fig. 6 bis 8 dargestellte Anordnung.

Eine Rundeisenstange *a* trug drei genau in einer Ebene liegende Spitzen *b*, welche bei richtiger Einstellung in die Höhe des Wasserspiegels fallen mussten, so dass eine (die mittlere) eben austauchte, während die beiden anderen gerade vollständig eintauchten. Die richtige Stellung dieses „Hackenmessers" liess sich bei ruhigem Wasser mit grosser Schärfe erkennen. Die grösste Einstellung geschah durch Verschieben des Instruments an der Holzstange *c*, eine feinere nach Lösung der Schraube *d* durch Verschiebung des Schmiedeeisenrohres *e* an dem Gestelle *f*, die schliessliche genaue Einstellung wurde durch Drehen der Schraubenmutter *g* bewirkt, wobei die Spindel mit den Spitzen sich in senkrechter Richtung bewegte, der Zeiger gab dann auf einem Massstabe *i* die Grösse dieser Verstellung, also bei Veränderung des Wasserstandes, nach oben als Steigen, nach unten als Fallen, an.

In ähnlich zuverlässiger Weise wurde auch der Raumgehalt des Messbehälters, in den das übergefallene Wasser abfloss, ermittelt.

Über selbsttätige Pegel zu Wasserstandsbeobachtungen hat Prof. Dr. W. Seibt im Zentralblatt der Bauverwaltung Mitteilungen veröffentlicht, welche die von Feinmechaniker R. Fuess (Steglitz-Berlin) baulich durchgearbeiteten Apparate System Seibt-Fuess eingehend behandeln. Diese sind:

Selbsttätig kurvenzeichnender Pegel mit Kontrollvorrichtung (Abb. 69),

Pendelregistrierwerk für Orts- und Fernbeobachtung,

Universalpegel mit Integrierwerk und Vorrichtungen zum telephonischen Abhören sowie chronoskopischen Ablesen der Wasserstände,

Hydrostatischer Pegel für Doppelstationen,

Hydrostatische Differentialwage,

Selbsttätiger Druckluftpegel, Rollbandpegel,

Elektrischer Fernpegel zur Aufzeichnung der jeweiligen Wasserstände durch fortgesetzte photographische

Aufnahmen, der für die Angabe der Zeit und der Wasserstände vorhandenen Zifferblätter des Empfangwerkes u. s. w. (Abb. 70).

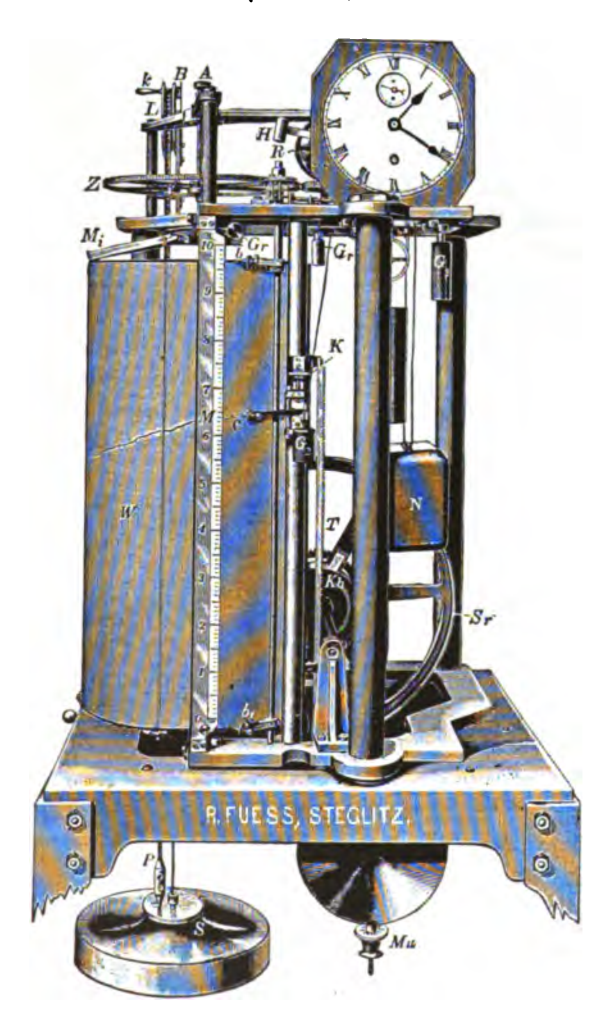


Abb. 69. *Selbstregistrierender Pegel.*

Die Apparate ermöglichen eine einwandfreie Beantwortung jedweder auf die Feinbeobachtung von Wasserständen abzielenden Fragen, die für die Entwickelung der Wasserbautechnik in erspriesslicher Weise nutzbar gemacht werden. Verfasser muss sich versagen, hier auf die Bauart der einzelnen z. T. überaus sinn-

reichen Apparate einzugehen, unter Verweisung auf die bezüglichen Abhandlungen im C. B. d. B. (Jahrgänge 1891 bis 1900), dagegen möge die Konstruktion des Pendelregistrierwerks kurz dargelegt werden.

Der auf dem Wasser der Beobachtungsstelle ruhende Schwimmer, Abb. 71, ist am Schwimmerrade *R* aufgehängt und durch das Gegengewicht *G* ausgeglichen. Bei seinem durch das Steigen und Fallen des Wassers bedingten Heben und Senken wird mittels des verjüngenden Getriebes *T* und des über die Rollen r_1, r_2 und r_3 geführten feinen Kupferdrahtes *D* die obere Linse *L* eines an dem

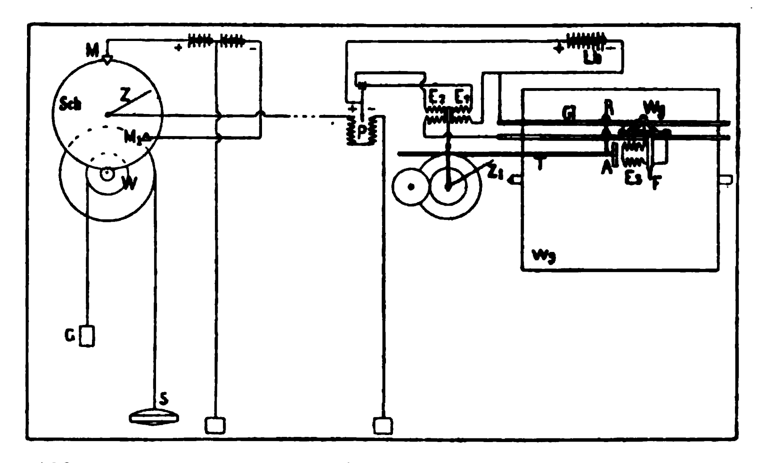


Abb. 70. *Schematische Darstellung für elektrische Fernregistrierung.*

Balken *B* mittels der Federn f_1 und f_2 aufgehängten zusammengesetzten, von dem Uhrwerke in Bewegung gehaltenen Pendels derartig verschoben, dass die Dauer der Schwingungen des letzteren bei steigendem Wasser verkleinert, bei sinkendem Wasser vergrössert wird. Jedem bestimmten Wasserstande entspricht hiernach eine bestimmte Stellung der Linse *L*, also auch eine bestimmte Anzahl von Pendelschlägen in einer bestimmten Zeit.

Je nach 500 Schlägen des Pendels erfolgt bei der Ortsbeobachtung von Wasserständen mittels des Hebels *h* eine mechanische Auslösung des Hammers *H*, der auf einem durch ein Uhrwerk sich von der Walze W_1 ab- und auf der Walze W_2 aufwickelnden schmalen Papierstreifen *P* den jedesmaligen 500. Pendelschlag markiert.

Nach vorausgegangener Konstantenbestimmung ist aus den von dem jeweiligen Wasserstande abhängigen Entfernungen der hierdurch auf dem Papierstreifen *P* entstandenen Punkte das auf einen beliebigen Nullpunkt bezogene Mass des betreffenden Wasserstandes abzuleiten, während die zugehörige Zeit seiner Beobachtung

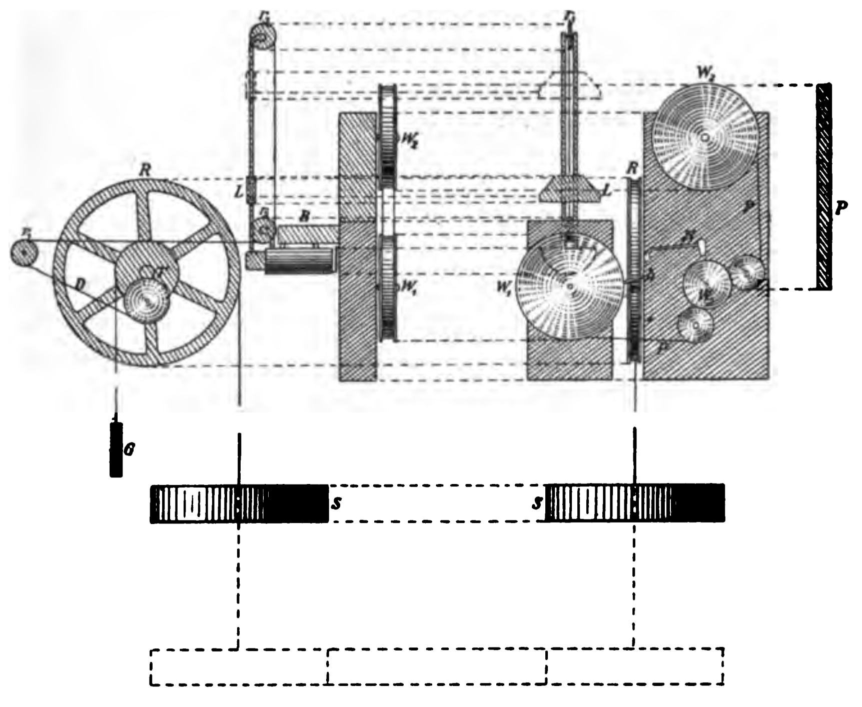


Abb. 71. *Pendelregistrierwerk.*

aus der zweiten Reihe von Punkten zu ermitteln ist, welche in den Papierstreifen *P* bei dessen Fortbewegung über die Walze W_3 eingestochen wurden. Für die Fernbeobachtung von Wasserständen wird die Auslösung des Hammers *H* des Empfangsapparates der Fernstelle durch elektrische Kontaktgebung von dem durch das Pendelwerk gebildeten Gebeapparate der Beobachtungsstelle bewirkt.

V. Beispiele.

Hierzu Tafel II und III.

Wasserstandsbeobachtungen und Wassermessungen.

Die von staatlichen Kommissionen ausgeführten Messungen haben den Zweck, das für die meisten hydrotechnischen Fragen, wie z. B. Flussregulierungen, Bestimmungen von Brückenweiten, Errichtung von Wasserwerksanlagen, Bewässerungsanlagen, Flussverunreinigungen u. dergl. so überaus wichtige Verhältnis der Wassermenge zum Wasserstande zu ermitteln und die sog. Wassermengekurve für bestimmte Flussstellen festzulegen.

Institute dieser Art bestehen in Preussen (welches seine Wirksamkeit auch auf die kleineren anliegenden Staaten ausdehnt, weil die zu untersuchenden Wasserläufe manchmal durch die betreffenden Gebiete fliessen), Elsass-Lothringen, Bayern, Baden, Württemberg, Sachsen, Österreich-Ungarn (besonders gut ausgestaltet in Böhmen) Schweiz, Frankreich.

Das hydrographische Bureau (Abteilung für Strassen- und Wasserbau) in Stuttgart gibt in seinem Verwaltungsbericht 1893—95 interessante Aufschlüsse über die systematischen Ausführungen von Wassermengemessungen an den Flüssen des württembergischen Landes bei verschieden hohen Wasserständen.

Wir entnehmen demselben einige bemerkenswerte Einzelheiten:

Im Jahre 1894 wurden am Neckar, der Donau und der Enz, sowie an den Mündungen ihrer Nebenflüsse zusammen 90 Wassermessungen gemacht; hierbei wurde je eine Messungsstelle am Hauptfluss oberhalb und unterhalb der betreffenden Nebenflussmündung und eine dritte Messungsstelle am Nebenfluss selbst, jedoch unterhalb des Staues des Hauptflusses bei Hochwasser ausgesucht. Neben der Kontrolle der Einzelmessungen ergab sich hierdurch auch die Wasserführung des Nebenflusses. Die sekundlichen Geschwindigkeiten wurden teils durch einen Woltmannschen Flügel mit elektrischer Zeichengebung nach 50 Umdrehungen, teils durch einen akustischen Flügel mit Zeichengebung nach 5 Umdrehungen von zwei an einem lichten Abstand von 2 m gekuppelten eisernen Schiffen aus wie folgt bestimmt.

Nachdem das in möglichst regelmässiger Flussstrecke ausgesuchte Querprofil genau aufgenommen war, wurden diejenigen Stellen bestimmt, an welchen in verschiedener Tiefe Geschwindig-

keitsmessungen vorgenommen werden sollten. Diese Stellen sind den Bruchpunkten der Sohlenlinie des Querprofiles entsprechend in Abständen von 0,5 bis 5,0 m je nach der Flussbreite und je nach den Strömungsverhältnissen anzunehmen. Die einzelnen Beobachtungen werden jeweils 10 cm unter dem Wasserspiegel und 10 cm über der Sohle, sowie in Abständen von 0,2 bis 0,5 m gemacht.

Um die wechselnde Geschwindigkeit eines und desselben Wasserfadens an ein und derselben Flussstelle möglichst unschädlich zu machen, wird jede Geschwindigkeitsmessung auf mindestens drei Minuten Zeitdauer ausgedehnt.

Die Berechnung der sekundlichen Abflussmenge erfolgt nach dem graphischen Verfahren von Harlacher.

Bei den Hochwassermessungen im Frühjahr 1895, während welchen die Flüsse annähernd bordvoll liefen, waren Geschwindigkeitsmessungen in grösseren Tiefen unter der Wasseroberfläche wegen der starken Schwankungen der Stange nicht ausführbar; man beschränkte sich auf Oberflächenmessungen. Zur Berechnung wurde die mittlere Geschwindigkeit in jeder Senkrechten gleich 0,85 der gemessenen Oberflächengeschwindigkeit angenommen, da sowohl die von dem württembergischen hydrographischen Bureau gemachten Geschwindigkeitsmessungen, als auch die in Bayern an den Flüssen Inn, Donau, Isar und Lech vorgenommenen zahlreichen Messungen diese Verhältniszahl ergaben.

Die Ergebnisse dieser Messungen werden in Tabellen zusammengestellt und durch weitere Wassermessungen bei zwischenliegenden Pegelständen zu vervollständigen gesucht.

Da die Zeit der Vornahme der Wassermessungen in den Tabellen angegeben und der Wasserstand während der Messung auf einen regelmässig beobachteten Pegel bezogen ist, so geben die Tabellen trotz ihrer Unvollständigkeit wertvolle Aufschlüsse über die Wasserabflussverhältnisse der beobachteten Flüsse und über den Einfluss der Wasserführung ihrer Nebenflüsse. An jeder Aufnahmestelle wird für jede einzelne Wassermessung die der Ganguillet-Kutterschen Formel für Berechnung der Geschwindigkeit fliessender Gewässer entsprechende Konstante *n* berechnet und das Ergebnis dieser Berechnungen ebenfalls in die Tabelle aufgenommen. Die Formel lautet:

$$v = \frac{\frac{1}{n} + 23 + \frac{0{,}00155}{J}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{J}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \sqrt{RJ}.$$

Der sogenannte Rauhigkeitskoeffizient *n* (vgl. Seite 11) ist aber nach den erzielten Ergebnissen für ein und dasselbe Flussprofil bedeutenden Schwankungen unterworfen, obgleich er nach dem ganzen Aufbau der Formel nur dann einen anderen Wert annehmen sollte, wenn sich der Rauhigkeitsgrad des benutzten Umfanges ändert. Es bestätigt sich daher aus diesen Messungen die schon vielfach anderwärts wahrgenommene Tatsache, dass dem Koeffizienten *n* auch noch eine andere Bedeutung als die eines reinen Rauhigkeitskoeffizienten zukommt.

Das Versinken des Donauwassers zwischen Immendingen und Möhringen im Grossherzogtum Baden hat zwischen den beiden Oberbehörden für den Wasser- und Strassenbau in Baden und Württemberg zu einem Einvernehmen geführt, um eine sichere Grundlage für die einheitliche Behandlung der Frage zu schaffen.[1])

Das Verfahren bei der Vornahme der Geschwindigkeitsmessungen und Berechnung der sekundlichen Wassermengen oberhalb und unterhalb der Donauversinkstellen, sowie ihres Nebenflusses, der Aach, war dabei folgendes.

Die vorbereitenden Arbeiten bestanden darin, dass zunächst die senkrecht zur Stromrichtung ausgewählten, zu Messungen besonders geeigneten Querprofile an der Donau und Aach durch je zwei an beiden Ufern geschlagene Bodenpflöcke festgelegt wurden.

Um gegen die flacheren Ufer die nötige Wassertiefe und messbare Geschwindigkeiten zu erhalten, wurde an den Messprofilstellen je 10 m auf- und abwärts das Flussbett von Wasserpflanzen und grösseren Steinen gereinigt und durch Bretterwände eingeengt. Diese Einengungen, welche eine Länge von 4,5 m und eine Höhe grösser als die Wassertiefe hatten, waren parallel zum Stromstrich derart aufgestellt, dass die Messungsstelle rund 4 m vom obern und 0,5 m vom untern Bretterwandende entfernt lag, um etwaige schädliche Einwirkung der Kontraktion zu vermeiden. Der zwischen der Wand und dem nächstliegenden Ufer verbleibende Flussteil

---

[1]) Es sei gestattet, bei dieser Gelegenheit an den klassischen Versuch zu erinnern, vermittels dessen es im Jahre 1877 gelang, den unterirdischen Zusammenhang zwischen Rhein (bezw. Bodensee) und Donau zu beweisen. Zwischen Möhringen und Immendingen wurde eine alkalische Lösung von zehn Kilogramm Fluoreszeïn in die Donau gegossen; nach etwa 60 Stunden zeigte die Ach, an deren Quelle Wächter aufgestellt worden waren, die charakteristische gelbgrüne Fluoreszenz. Da die Ach sich in den Bodensee ergiesst, war damit der Zusammenhang zwischen Rhein und Donau festgestellt.

wurde am oberen Wandende durch eine zweite schräg flussaufwärts gerichtete Bretterwand abgeschlossen. Das über den Fluss gespannte Drahtseil erhielt eine in Abständen von etwa 50 cm, entsprechend der Peilung des Querprofils, auf Zentimeter abgerundete Teilung.

Die Gefällsermittlung des Wasserspiegels erfolgte in der Weise, dass man in Abständen von 20 bis 40 m ober- und unterhalb des Messprofils Pflöcke auf Wasserspiegelhöhen einschlug und ihre Festpunkte durch Nivellement ermittelte. Während der Ausführung der Geschwindigkeitsmessungen wurden die Wasserstandsbewegungen an den nächstliegenden Pegeln ober- und unterhalb der Messungsstelle in kürzeren Zeitabschnitten beobachtet, auch die Schwankungen des selten im Beharrungszustande sich befindenden Wasserspiegels an der Messstelle selbst während der Vornahme der Versuche kontrolliert.

Zur Ausführung der Geschwindigkeitsmessungen dienten zwei an 30 m langem verankerten Drahtseil angehängte, 2 m voneinander gekuppelte Stahlblechschiffe von 7,6 m Länge und 1 m Breite; bei vollständiger Belastung betrug die eingetauchte Länge der Schiffe 5,5 m, die Eintauchtiefe etwa 0,15 bis 0,2 m. Die Beobachtungen erfolgten von einem zwischen den Schiffen angelegten Bretterboden aus; dadurch, dass die Messbrücke über den Bug hinausragte und der Standpunkt des Beobachters jeweils in der Mitte beider Schiffe lag, konnten die Geschwindigkeitsmessungen ohne Beeinträchtigung durch den Stau der Schiffe erfolgen.

Die Bestimmung der Geschwindigkeit der einzelnen Wasserfäden der verschiedenen Profilstellen und in veränderlichen Tiefen geschah mit einem hydrometrischen Flügel mit elektrischer Zeichengebung nach 50 Umdrehungen. Der Flügel wird an fester mit Nut versehener Eisenstange auf- und abwärts bewegt und durch eine Visiereinrichtung in der Querprofilrichtung erhalten; die zur Verwendung gelangte vierflügelige Schaufel wurde von der hydrometrischen Prüfungsanstalt der Technischen Hochschule in München tariert.

Die Entfernung der einzelnen Messungsstellen innerhalb des Querprofils richtete sich in der Hauptsache nach den Ergebnissen der Peilungen in der Art, dass an Orten mit grösster oder geringster Wassertiefe die Geschwindigkeitsmessung vorgenommen wurde. Als grösster Abstand zweier Lotrechten ergab sich ungefähr $^1/_8$ bis $^1/_{10}$ der Flussbreite.

Die Tiefen, in welchen an den einzelnen Punkten gemessen wurde, waren nach der oberen und unteren Grenze hin von dem rund 10 cm messenden Schaufelhalbmesser abhängig. Der oberste Messpunkt lag stets 10 cm unter dem Wasserspiegel, der unterste 10 bis 15 cm über der Sohle; Zwischenmessungen fanden, je nach der örtlichen Wassertiefe, in Abständen von 10 bis 50 cm statt.

Da die Geschwindigkeit der einzelnen Wasserfäden erfahrungsgemäss eine ungleiche ist, so war die Dauer der Einzelbeobachtung auf mindestens 3 Minuten festgesetzt und das Zeitmass nach je 50 Flügelumdrehungen mit Chronometern, die eine Ablesung in Pausen von $^1/_5$ Sekunde zuliessen, erhoben. Als wünschenswert für etwaige spätere Vergleiche und Beseitigung von Unklarheiten notierte man nicht allein die Zeit des Beginnes und Endes der Gesamtmessung, sondern auch die Beobachtungsdauer in jeder einzelnen Lotrechten.

Die Einwirkung des Windes wurde, da seine Stärke nur gering war, ausser Rechnung gelassen.

Für die Berechnung der sekundlichen Wassermengen wurde zunächst die Geschwindigkeit v der einzelnen Beobachtungen nach der Gleichung

$$v = kn + \sqrt{k' n^2 + a}$$

bestimmt, in welcher n die Umgangszahl des Flügels in einer Sekunde und k, k' und a die für die Schaufel ermittelten Koëffizienten bezeichnen, sodann mit Hilfe der bei der Durchpeilung erhaltenen Flusstiefen und durch Beobachtung erhaltenen Einzelgeschwindigkeiten die Vertikalgeschwindigkeitsflächen konstruiert. Die Grösse der auf diese Weise gezeichneten Fläche wurde planimetrisch bestimmt und durch Division dieser Fläche durch die Wassertiefe die mittlere Vertikalgeschwindigkeit berechnet und schliesslich hieraus die Kurve der gemittelten Geschwindigkeit der einzelnen Profillotrechten gezeichnet.

Als Grundlage zur Berechnung der sekundlichen Wassermenge dient das von Harlacher eingeführte graphische Verfahren. Trägt man hiernach vom Wasserspiegel des Querprofils aus als Abszisse die Geschwindigkeitsflächen der einzelnen Lotrechten linear als Ordinaten auf und verbindet die so erhaltenen Endpunkte durch eine Kurve, so stellt die Fläche zwischen dieser Kurve und dem Wasserspiegel die Grösse der gesuchten Wassermenge dar. Wo es erforderlich erschien, wurden auch noch Kurvenpunkte zwischen den einzelnen Lotrechten konstruiert, indem man die mit Hilfe der gemittelten Vertikalgeschwindigkeit erhaltene mittlere Wasser-

geschwindigkeit in dem betreffenden Zwischenpunkt mit der zugehörigen Wassertiefe multiplizierte. Die Wassermengenfläche wurde planimetriert und die mittlere Geschwindigkeit im ganzen Profil durch Division mit dem Flächeninhalt des Querprofils erhalten.

Die während der Dauer einer vollständigen Messung im Profil beobachtete Wasserstandsschwankung betrug meist nur 5 bis 20 mm und nur ausnahmsweise mehr; als mittlerer Wasserstand im Messprofil wurde, weil die Wasserstandsveränderungen bei den in der Nähe des Stromstriches gelegenen Lotrechten mehr ins Gewicht fallen als bei den nahe den Ufern gelegenen, das arithmetische Mittel der Wasserstände während der Dauer der Geschwindigkeitsmessungen in den der Flussmitte zu gelegenen Senkrechten angenommen.

Der diesem mittleren Wasserstand im Messprofil entsprechende Pegelstand wurde unter Berücksichtigung der Dauer, welche die Wasserwelle für Zurücklegung des Weges zwischen dem Pegel und der Messstelle bei annähernd gleicher mittlerer Geschwindigkeit braucht, ermittelt und auf diese Weise die Beziehung zwischen sekundlicher Abflussmenge und den am jeweils nächstgelegenen Pegel gemachten Wasserstandsablesungen festgestellt.

Zur Bestimmung des Längengefälles des Wasserspiegels wurde das Längenprofil des Flusses aus den oben beschriebenen Aufnahmen mit starker Überhöhung aufgezeichnet und an die so erhaltene Kurve im Messprofil eine Tangente gelegt, welche die Neigung des gesuchten Gefälls darstellt. Da die Querprofilstellen in regelmässig ausgebildetem Flussbett und in annähernd gerader Flussstrecke ausgewählt waren, erschien es genügend, das Längengefälle nur entlang einer Uferseite aufzunehmen.

Da nun für die ausgewählten Flussquerprofile die Grössenverhältnisse, das Flussgefälle und die mittlere Wassergeschwindigkeit bekannt sind, kann für jede beliebige Formel über die Grösse der Bewegung des Wassers in Flüssen und Kanälen der Wert der jeweiligen Koeffizienten bestimmt werden, was für die gebräuchlichste und gute Ergebnisse liefernde Ganguillet-Kuttersche Gleichung geschah.

Mittels der auf diese Weise erhaltenen Konstanten wird man in die Lage versetzt, späterhin zu Vergleichungszwecken die Wassermenge für jeden beliebigen Pegelstand berechnen und das Gesetz der Wasserabfuhr auch bei höheren, innerhalb des Flussschlauches sich bewegenden Wasserständen mit grösstmöglicher Genauigkeit aufstellen zu können. —

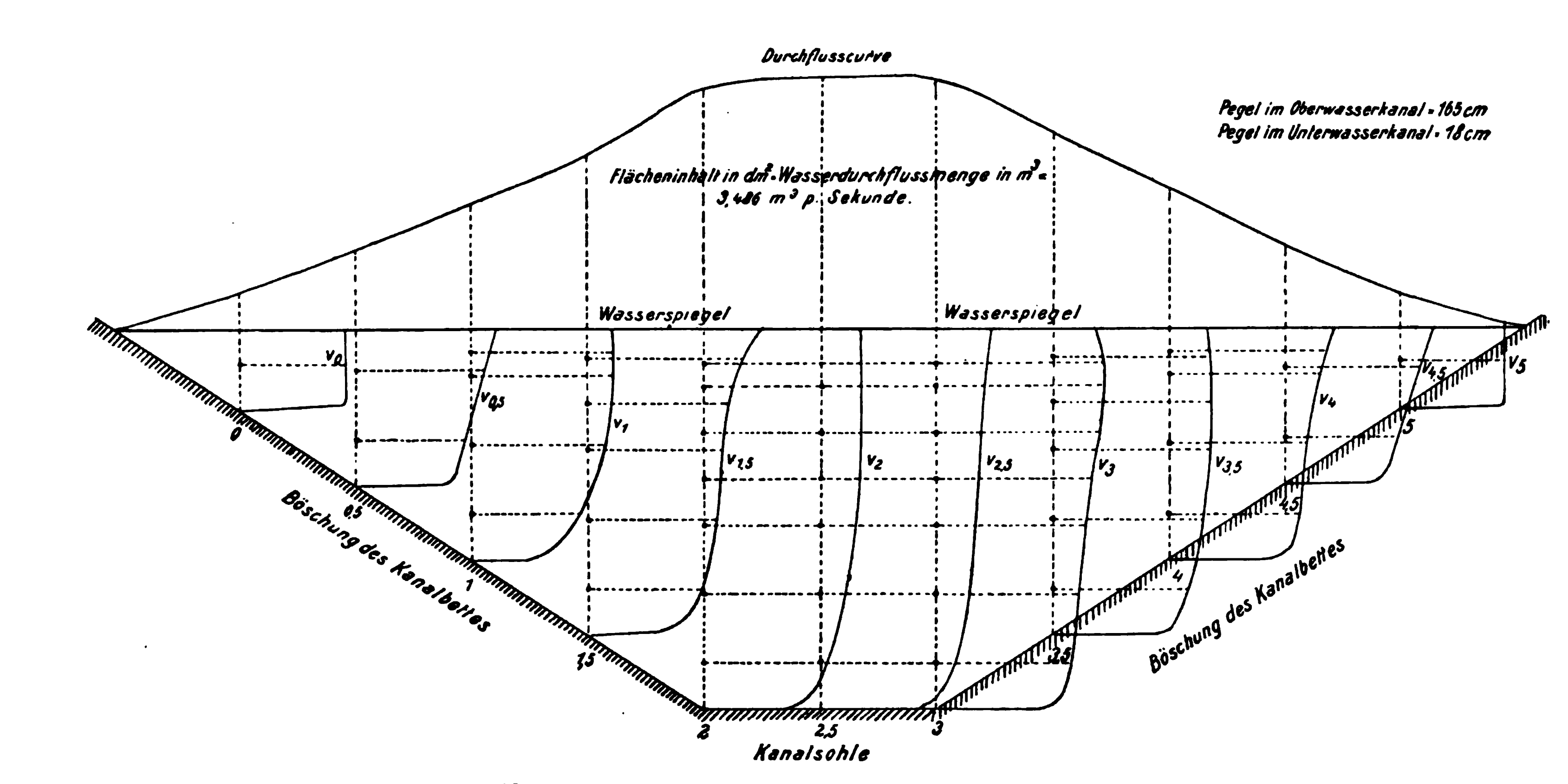


Abb. 72. *Messung des Durchflusses im Oberkanal einer Zementfabrik.*

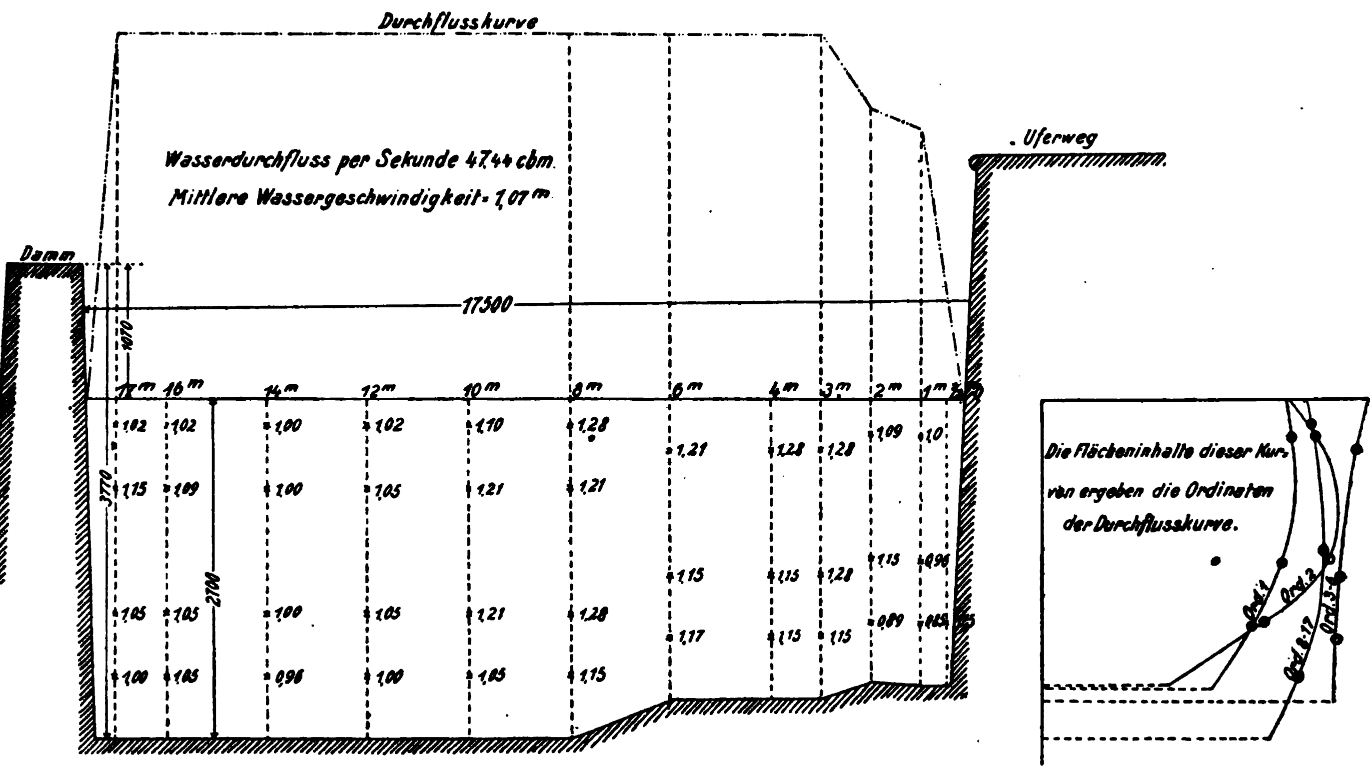


Abb. 73 und 74. *Wassermessung im Oberkanal des unteren Turbinenhauses in Schaffhausen.*

Verfasser verdankt der Freundlichkeit des Herrn Dr. A. Amsler nachstehende Resultate zweier Wassermessungen, die hinsichtlich der Durchflussprofile und Wassergeschwindigkeiten charakteristisch sind und für analoge Verhältnisse als vorbildlich gelten können.

1. Messung des Durchflusses im Oberkanal einer Zementfabrik am 9. März 1897 (Abb. 72)

Das Böschungsverhältnis des in Erde gegrabenen Kanals ist 1:1,5. Bei einer Wasserspiegelbreite von 6 m und einer Sohlenbreite von 1 m sind 11 Lotrechte in je 0,5 m Abstand angenommen worden.

Die Zahl der Beobachtungspunkte ist 45. Die Originalzeichnung des Kanalprofils ist im Massstab 1:10 aufgetragen; v_0, $v_{0,5}$, v_1, $v_{1,5}$ u. s. w. sind die Geschwindigkeitskurven für die entsprechenden Messordinaten, 1 m Geschwindigkeit entspricht 10 cm Ordinatenlänge der Kurven v. Die Ordinaten der Durchflusskurve sind gleich den Flächeninhalten der Kurven v im Massstab 1 cm^2 Flächeninhalt = 1 mm Ordinatenhöhe.

Die Wassermenge betrug $Q = 3{,}486$ cbm/sec.

2. Wassermessung im Oberkanal des unteren Turbinenhauses in Schaffhausen am 11. November 1898 (Abb. 73 und 74)

Beobachtungsstelle: 2,5 m unterhalb Telegraphenpfosten auf äusserem Kanaldamm, Pegelstand an der Rheinbrücke 7,16, bei der Spinnerei 1,30. Unmittelbar gemessenes Gefälle von der Beobachtungsstelle bis Unterwasserspiegel an den Turbinen 4,18 m, Stauung des Moserdammes durch Aufsatzbretter 0,60 m. Der gemauerte Kanal mit 17,50 m Breite enthält 12 Lotrechte in Abständen von 0,5 bis 2 m, entsprechend der Gestaltung der Flusssohle, die an der rechten Seite Schuttablagerungen aufwies. Die Geschwindigkeiten wurden in 40 Punkten mit hydrometrischem Flügel Nr. 209 gemessen, die mittlere Wassergeschwindigkeit ergab sich zu 1,07 m in der Sekunde, demzufolge die Durchflussmenge im Kanal zu 47,44 cbm/sec., hiervon war abzuziehen die Wassermenge im Zieglerschen Kanal mit 5,33 cbm/sec., so dass für die neue Turbinenanlage 42,11 cbm/sec. verbleiben.

Absolute Wasserkraft:

$$N_a = \frac{42{,}11 \cdot 4{,}18 \cdot 1000}{75} = 2347 \text{ PS.}$$

Die Flächeninhalte der Geschwindigkeitskurven ergeben die Ordinaten

der Durchflusskurve, entsprechend 1 cm = 0,1 m Geschwindigkeit, der Flächeninhalt dieser Kurve ergibt die Durchflussmenge, wobei 1 cm Ordinatenhöhe = 0,2 cbm. (Abb. 74.)

Die Dauer der Messung betrug etwa eine Stunde, gleichzeitig wurden von andern Beobachtern elektrische Messungen an den Generatoren sowie Pegelablesungen gemacht. In der Originalzeichnung sind die Längen im Verhältnis 1:50, die Höhen im Massstab 1:20 aufgetragen. Diese beiden Messungen sind Beispiele für Beobachtungen bei Kraftwerken und Industriekanälen, wobei rasch gearbeitet werden muss und meistens nicht mehr als eine halbe bis eine Stunde Zeit gebraucht werden darf, z. B. bei Feststellung des Wirkungsgrades von Wassermotoren, bei denen ein Beharrungszustand auf längere Dauer kaum zu erreichen ist.

Wassermengemessungen in geschlossenen Leitungen.

Das allgemein gebräuchliche Verfahren, die Wassermenge in geschlossenen Leitungen zu berechnen, erfolgt entweder mittels einer Gleichung, wie die bekannte Chezy-Formel ($v = C\sqrt{RJ}$), durch Messungen an einem Überfallwehr oder mit einem hydrometrischen Flügel.

Ist ausreichendes Gefälle vorhanden, so ist die zuverlässigste Methode die Erstellung eines Normalmesswehres mit selbstregistrierendem Apparat zur fortlaufenden Aufzeichnung der Wasserhöhen über der Wehrkrone. Eine derartige Anlage wird frei von jener Unsicherheit sein, die stets vorhanden ist, wenn man die abgeflossene Wassermenge nach irgend einer Formel berechnet, welche dem wechselnden Rauhigkeitsgrad der benetzten Innenfläche der Leitung nicht durch Änderung des Koeffizienten Rechnung trägt.

Die Ungenauigkeit der Formelmethode ohne nachträgliche Korrektur wurde durch eine ausgedehnte Reihe von Beobachtungen an den Sudbury- und Cochituate-Aquadukten der Metropolitan Wasserwerke in Boston, über welche Walter W. Patsch eingehend berichtet, nachgewiesen. Diese Leitungen sind derart ausgeführt, dass von der Anlage eines Wehrs abgesehen werden musste, weshalb die schliesslich angenommene Messmethode die Verbindung eines Geschwindigkeitsmessers mit der Stromformel ist.

Während der Bauausführung wurde zeitweise ein Überfallwehr eingestellt und der tägliche Verbrauch von 13 bis 72 Millionen Gallonen[1])

[1]) Eine amerikanische Gallone = 3,78 Liter.

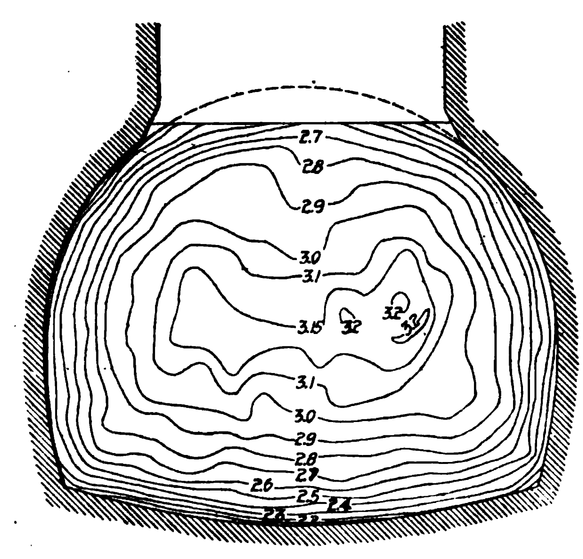


Abb. 75. *Sudbury Aquadukt.*

(= 49160 cbm bis 272160 cbm) gemessen. Hiernach konnte eine Tabelle berechnet werden für die Werte des Koeffizienten C in der Formel $v = C\sqrt{RJ}$ (in welcher v die Geschwindigkeit in englischen Fussen in der Sekunde, R den durch den benetzten Umfang geteilten Flächeninhalt und J den Sinus des Leitungsgefälles bezeichnet). Die Tabelle wurde bis zur vollen Leistungsfähigkeit der Leitung erweitert, d. h. bis zu einer täglichen maximalen Durchflussmenge von 109 Millionen Gallonen (= 412020 cbm) unter der Voraussetzung, dass die Innenfläche des Mauerwerks verhältnismässig rein ist. Ein im Wasserwerk aufgestellter, selbsttätiger Schreibapparat verzeichnet fortlaufend die Wassertiefen, die denselben entsprechenden Mengen werden einer Tabelle entnommen, welche sich auf die Formel $v = C\sqrt{RJ}$ gründet; die Werte von C sind eben diejenigen, welche auf die beschriebene Weise erhalten wurden, wobei J konstant bleibt. Im Cochituate-Aquadukt ist sowohl J als auch C veränderlich, weshalb keine Tabelle, die sich auf den Werten der Überfallhöhen aufbaut, berechnet werden konnte. Indessen sind Grössen von C und J nach gleichzeitig täglich drei-

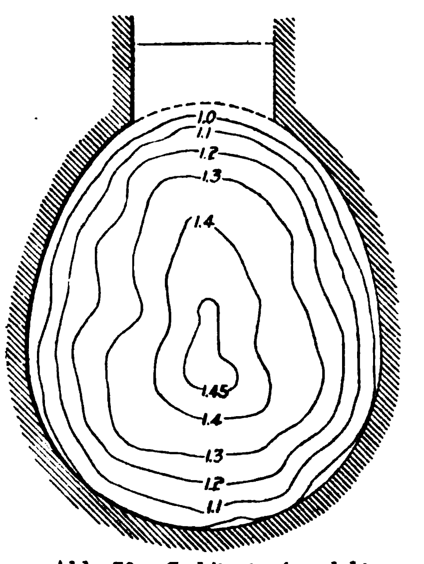


Abb. 76. *Cochituate Aquadukt.*

maligen Beobachtungen an zwei, 8 Meilen voneinander entfernten Stationen, übersichtlich zusammengestellt worden.

Die Werte von C ändern sich gemäss der Wassertiefe in der Cochituate-Leitung von 130,5 zu 122,5 und in der Sudbury-Leitung von 96,3 auf 140,8; sie sind nur genau bei verhältnismässig reiner Innenfläche der Leitung. Da dieser Zustand nur kurze Zeit andauert, so ändern sich die Tabellenwerte im ersteren Falle von 89,7 % auf 103,6 %, im zweiten Falle von 94,4 % auf 107,0 %, woraus zu ersehen ist, dass ohne Berücksichtigung des Rauhigkeitsgrades die beobachteten Wassermengen bis zu 10 % ungenau sein können. Der Rauhigkeitskoeffizient wird deshalb wöchentlich mittels des Geschwindigkeitsmessers kontrolliert.

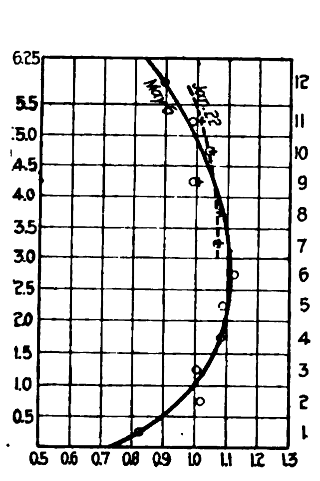




Abb. 77. *Cochituate Aquadukt.*

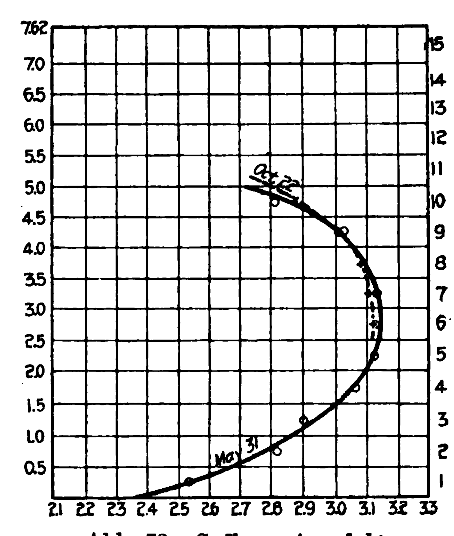


Abb. 78. *Sudbury Aquadukt.*

Der Wassermesser besteht aus einem zehnflügeligen Schaufelrad von $3^5/_8$ Zoll Durchmesser mit elektrischem Zähler, er wird je nach 6 Monaten auf einer 150 Fuss langen Strecke in ruhigem Wasser tariert. Um die mittlere Wassergeschwindigkeit in den Leitungen zu erhalten, kommt folgendes Verfahren zur Anwendung.

Die Querschnittsfläche der Wasserleitung wird in eine Reihe 6 Zoll breiter Streifen (Abb. 79) eingeteilt. Der $1^1/_4$ Zoll starke Messingstab, an dessen Ende der Flügel befestigt ist, gleitet bei A in einer Hülse, bei C befindet sich ein Griff und bei B rollt eine Metallscheibe in den Rinnen der Messtafel. Diese Tafel ist derart eingeteilt, dass, wenn der Zeiger am Stab bei B an irgend einer der

Zahlen jeder Rinne steht, der Messer im Mittelpunkt des entsprechend numerierten Feldes im Messquerschnitt sich befindet, und da die Rolle von einer Seite der geschweiften Rinne zur entgegengesetzten läuft, kreuzt der Messer die Felder in der Wasserleitung horizontal.

Wenn der Messer in das Feld Nr. 1 hinabgelassen und mit gleichmässiger Geschwindigkeit durch die aufeinander folgenden Felder bis zum letzten Felde des Streifens geführt wird, stellt die hieraus sich ergebende Umgangszahl des Messflügels eine Integration der Geschwindigkeit des ganzen Wasserquerschnittes dar. Für die Versuche ist die horizontale Fortbewegung des Messers auf 0,1 Fuss in der Sekunde festgesetzt worden, weshalb der Griff je nach fünf Sekunden eine Ziffer an der Messtafel passieren muss. Der Beobachter arbeitet mit einem Zeitmesser, der Sekunden schlägt, und wird an jeder fünften Teilmarke durch einen Assistenten mit einer Sekundenuhr kontrolliert. Die Gesamtzahl der Umdrehungen des Messrades durch die Zahl der für die Beobachtung gebrauchten Sekunden dividiert, stellt die mittlere Stromgeschwindigkeit in der Wasserleitung dar.

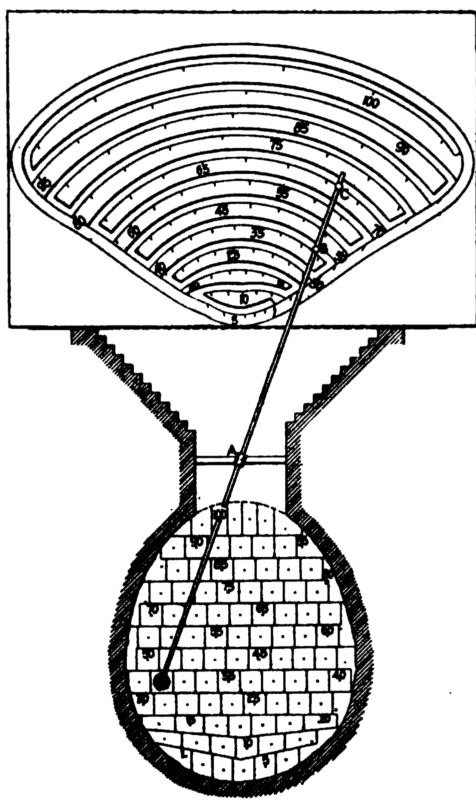


Abb. 79. *Cochituate Aquadukt.*

Wenn die Messfläche in der Leitung mehr als 0,5 Fuss über oder ausser der Grenze eines Streifens liegt, erhält man die mittlere Geschwindigkeit für den partiellen Streifen, wie aus Abb. 77 ersichtlich. In solchem Falle wird jeder der oberen voll eingetauchten Streifen abgesondert integriert und auf Skizzierpapier aufgetragen. Durch die Punkte wird eine Kurve gelegt und bis zum Oberwasserspiegel verlängert. Die

mittlere Geschwindigkeit des partiellen Streifens ist öfters bis zu 6 % von der mittleren Geschwindigkeit des Gesamtquerschnittes verschieden und, da sein Flächeninhalt 10 % des ganzen Inhalts ausmachen kann, würde dies unnötigerweise eine Fehlerquelle einschliessen, wenn die Geschwindigkeit für den partiellen Streifen ebenso gross angenommen wird, wie das Mittel aus der Querschnittsberechnung.

Bei jeder Messung kommt die Integrierung immer zweimal zur Durchführung, einmal vom Wasserspiegel bis zum Grund und dann wieder in umgekehrter Ordnung. Die Ergebnisse weichen gewöhnlich etwas voneinander ab, da z. B. am Sudbury-Aquadukt die Differenz in der mittleren Geschwindigkeit für eine Reihe von 30 aufeinander folgende Beobachtungen 0,37 % war und von 0,00 bis 1,18 % ansteigt, während an der Cochituate-Leitung für 30 Beobachtungen der durchschnittliche Unterschied zwischen den Ablesungen jeder Reihe 0,89 % und die Abstufungen 0,00 % bis 2,5 % betrugen.

Der Koeffizient der Reinheit ist der Faktor, mit dem die Resultate, die aus der Wasserleitungsformel berechnet sind, multipliziert werden müssen, um mit der aus den Flügelbeobachtungen gewonnenen Wassermenge übereinzustimmen.

Er wechselt mit der Veränderung und Dichte der Ablagerungen organischer Gewächse an der benetzten Oberfläche und bildet immer einen unmittelbaren Massstab für die abgeflossene Wassermenge im Vergleich zu deren theoretischem Wert. Das Anwachsen des Koeffizienten der Reinheit betrug nach einer vorgenommenen Reinigung des Kanals 7,2 % oder von 0,998 zu 1,070 in einem späteren Falle 11,6 %.

Die Mauerfläche der Wasserleitung, wie sie unmittelbar nach dem Ablassen zur Reinigung sich darbietet, zeigt einen dunkelbraunen schlammigen, gewöhnlich etwa $^1/_{16}$ Zoll dicken Niederschlag; dieser Überzug kann in seinem natürlichen, vom Wasser bespülten Zustande vier- oder fünfmal mehr Raum einnehmen als nach dem Ablassen, aber sogar unter dieser Voraussetzung würde er bei einer Wassertiefe von 7 Fuss nur 1 % von der Gesamtquerschnittsfläche ausmachen. Auffallend ist es, wie die Beseitigung eines solchen Überzugs, der nur 1 % des vollen Querschnittes beträgt, eine Zunahme der durchfliessenden Wassermenge um 14 % bewirken kann. Es ist zweifellos, dass hier eine Sperrung eintritt, um die Wassergeschwindigkeit zu vermindern, welches Hemmnis stärker wirkt als der verhältnismässige Verlust im Durchflussprofil.

Wenn man die Wassermenge in Leitungen nach beschriebener Methode misst, werden die zuverlässigsten Resultate durch sehr häufige Beobachtungen in den Punkten, deren Ort den Koeffizienten für die Reinheitskurve angibt, erhalten. Der höchsterreichbare Genauigkeitsgrad ist durch die Fehlersumme aus den in jedem einzelnen Punkte verzeichneten Werten begrenzt. Bei der Sudbury-Wasserleitung werden wöchentliche Wassermengemessungen angestellt, und da die Geschwindigkeiten für Flügelbeobachtungen hier günstig sind, so wird angenommen, dass die Endberechnungen innerhalb 1 % der wirklichen Wassermenge verbleiben.

In welcher Weise die Optik als Hilfsmittel für die Zwecke der Hydrometrie herangezogen werden kann, zeigt der neue Apparat von Cole, dessen Konstruktion sich wie folgt zusammensetzt.

Das Messgerät ist im Prinzip ein Geschwindigkeitsmesser, da seine Wirkungsweise von der Wassergeschwindigkeit in einer Rohrleitung abhängt, dabei zeigt es jedoch nicht unmittelbar die Durchflussmenge während einer bestimmten Zeitdauer an, wie es bei den gebräuchlichen Messern gewöhnlich der Fall ist. Die Ausschaltung des Zeitmasses ist bei einem Verbrauchsmesser geboten, um den Wechsel in der Wassergeschwindigkeit durch die Rückwirkung der Abschlussventile und Hähne unmittelbar beobachten zu können.

Aus Abb. 80 ist die vollständige Einrichtung des Instrumentes mit dem Photoregistrator ersichtlich. Zwei am unteren Ende umgebogene, innen glatt polierte Messingröhren K von $^1/_8''$ l. W. (= 3,17 mm) sind dicht in einen Metallkopf B eingefügt, der mit einem einzölligen Normalhahn C verschraubt, leicht in eine Röhrenfahrt eingesetzt und wieder entfernt werden kann. Mit dichtem Stoff gefütterte Gummischläuche führen zu einem Glasmanometer in Form einer U-Röhre H, die mit einer Mischung von Kohlenstoff-Detrachlorid (CCl_4) und Gasäther zu gleichen Teilen (spezifisches Gewicht = 1,25) gefüllt ist; zur Entfernung der Luft sind Ablasshähne D E vorgesehen. Durch Verwendung dieser Flüssigkeit wird der leere Raum innerhalb der U-Röhre vollständig ausgefüllt. Die Öffnung in den Metallröhren sind derartig angeordnet, dass sie nach Art des Pitotschen Instrumentes die grösste Wassergeschwindigkeit, die gewöhnlich im Mittelpunkt einer Rohrleitung herrscht, und sich durch den Ausschlag am Manometer

anzeigt, aufnehmen. Diese Ablenkung ist vermöge der differentialen Wirkung des Wassers und der leichten und unlöslichen Flüssigkeit gerade viermal so gross wie der tatsächliche Druckunterschied an den Düsenöffnungen, der von der Durchflussgeschwindigkeit erzeugt

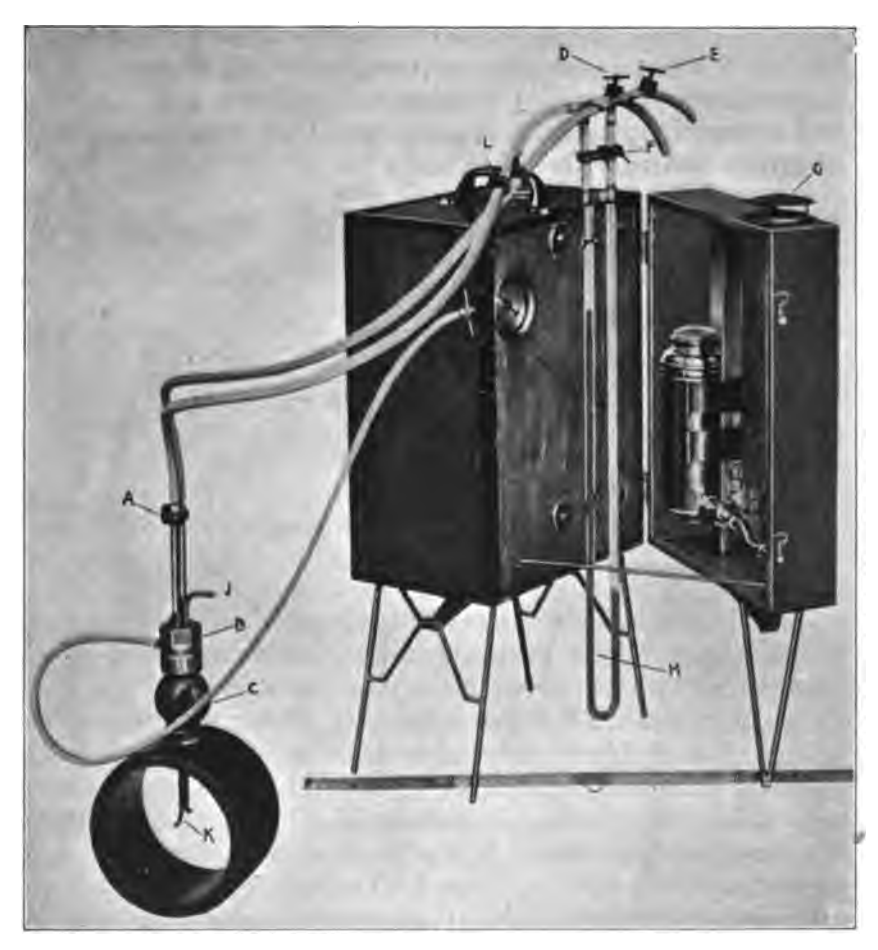


Abb. 80. *Pitometer von Cole.*

wird. Die Strömung drückt ohne weiteres durch die eine Öffnung, während die andere, stromabwärts gerichtete, etwas weniger anzeigt, als das hydrostatische Moment des Gefälles innerhalb der Hauptröhre, wodurch sich auf diese Weise der vorhandene Druckunterschied steigert.

Die Differenz erscheint in der U-Röhre derart vergrössert, dass schon eine geringe Geschwindigkeit im Leitungsrohr einen ablesbaren Ausschlag hervorruft. Ohne diese Zusatzwirkung würde die Pitotsche Röhre eine Geschwindigkeit, die kleiner als 0,3 m in der Sekunde ist, kaum angeben, während mit dem Pitometer, wenn er richtig angeordnet ist, geringe Geschwindigkeiten bis herab auf 100 mm gemessen werden können. Unter gewöhnlichen Verhältnissen dürfen die Ablenkungen in der U-Röhre bis auf 0,61 m ansteigen, wobei sie nicht einmal mit besonderer Schärfe abgelesen zu werden brauchen.

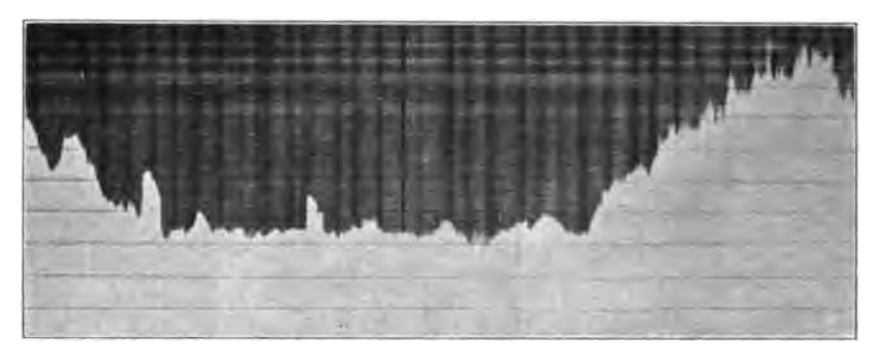


Abb. 81. *Diagramm.*

Der Photo-Registrierapparat besteht nach den Mitteilungen des Erfinders[1]) aus einem Kasten, in welchem eine mit Velox-Papier umwickelte Trommel sich vor einem senkrechten Schlitz im Abstand = 0,3048 m von der U-Röhre entfernt in solcher Stellung vorüberbewegt, dass die Lichtstrahlen einer Oellampe bei ihrem Durchgang durch die gefärbte Flüssigkeit im unteren Teil des Manometers teilweise aufgefangen werden. Je nachdem die Flüssigkeit, entsprechend der Wassergeschwindigkeit in der Hauptleitung, steigt oder fällt, zeichnet sich eine Linie auf dem lichtempfindlichen Papier in Form eines dunklen Streifens (Abb. 81) auf, dessen regelmässige Ordinaten nach der bekannten Formel

$$V = c\sqrt{2gh}$$

sich ändern, worin h ein Viertel des Druckunterschiedes in der U-Röhre in englischen Fussen, oder die Hälfte der Ordinate auf dem Diagrammpapier ist.

[1]) Edward S. Cole, Water Waste and its Detection, Vortrag vor der Western Society of Engineers, Chicago, Oktober 1902.

Eine zwölfstündige photographische Aufzeichnung ist 0,457 m lang und 0,254 m hoch. Autographierte wagerechte Linien werden durch Einschnitte im Trommelschlitz gebildet, die in solchen Abständen angebracht sind, dass sie den Lichtwinkel korrigieren und jederzeit ermöglichen, den Druckunterschied an irgend einer Stelle des Diagrammpapiers ablesen zu können.

Die Genauigkeit des Pitometers ist durch zahlreiche Versuche in offenen Kanälen geprüft worden, wobei die absoluten vom Apparat angezeigten Geschwindigkeiten mit Schwimmermessungen verglichen wurden. Die Konstante *c* für die Düsenöffnungen ist dabei auf 0,80 in nachstehender Formel bestimmt worden, wir haben somit

$$V = 0{,}8 \sqrt{\frac{2gd}{4}} = 3{,}212 \sqrt{d},$$

worin *d* die Ablenkung in der U-Röhre in englischen Fussen bedeutet.

Die vorhandene Wassergeschwindigkeit wird auf diese Art stets gemessen, wo immer die Düsenöffnungen innerhalb einer Leitungsröhre auch angebracht sind und indem man bei gegebenem Röhrenquerschnitt an einer oder zwei Lichtweiten quer durchmisst, kann das Verhältnis der mittleren zur grössten Geschwindigkeit für irgend eine Störungsgeschwindigkeit ermittelt werden. Ist dieses Verhältnis für eine gegebene Wasserleitung einmal bestimmt, so hat es für alle Verhältnisse Giltigkeit. Man kann alsdann die Düsen dauernd anbringen, um die grösste oder die zentrale Geschwindigkeit innerhalb der Rohrleitung zu beobachten, indem man die mittlere Geschwindigkeit und die abgeflossene Wassermenge aus einer Tabelle entnimmt, die für die bekannte Weite einer Rohrleitung und das Mass der Geschwindigkeit berechnet ist.

Diese Methode enthält nach Ansicht des Erfinders keinerlei Unsicherheiten, nachdem Röhren von verschiedener Beschaffenheit bezüglich der Rauhigkeit von 0,1 bis 1,9 m l. W. damit geprüft worden sind.

Die im Querschnitt einer Rohrleitung mit dem Pitometer berechnete mittlere Geschwindigkeit gegenüber der über ein Überfallwehr abgeflossenen oder mittels Pumpen geförderten Wassermenge ergab eine Übereinstimmung der Resultate bis auf 2 bis 3 % in ziemlich reinen Leitungen, wenn die sekundliche Geschwindigkeit 0,3 bis 0,6 m überschreitet. Geringere Geschwindigkeiten als 0,1 m können ebenfalls noch, jedoch mit weniger grosser Sicherheit, gemessen werden. —

Die urkundliche Feststellung der Tatsachen bei Wassermessungen sollte nicht dem Impulse einzelner Beobachter überlassen bleiben, vielmehr sind alle Hilfsmittel, welche die Präzisionsmechanik und Optik bietet, heranzuziehen: selbstregistrierende Pegel für die Wasserspiegelhöhen, elektrische Uhren und Glocken, Schreibtelegraphen, Tachometer, Chronographen sollten benutzt werden, um die Vorgänge an den einzelnen Beobachtungspunkten mit aller Schärfe aufzuzeichnen.

Um für die Lösung der von allen Seiten herandrängenden wasserwirtschaftlichen Aufgaben einigermassen sichere Grundlagen zu bekommen, wären photographische und Bildmess-Aufnahmen geeignet, um so mehr, als jetzt brauchbare Apparate für Reihenaufnahmen von 20 und mehr Aufnahmen in der Sekunde geliefert werden.[1])

Augenblicksaufnahmen von Wasserstrahlen unter gleichzeitiger Aufnahme von geaichten Messgefässen werden Aufklärung geben über die stossweisen Bewegungen des Wassers.

Der Vorsteher der preussischen Messbildanstalt, Geheimer Baurat Dr. Meydenbauer, hält die Absicht, die Bewegung der Wasserteilchen bei Wellenbewegung, Ausströmungen u. s. w. durch Aufnahme mit Kinematographen, verbunden mit Messbildverfahren, zu erforschen, für den einzigen aussichtsvollen Weg zur Lösung des Problems. Die Möglichkeit von Unterwasseraufnahmen, z. B. von schwimmenden kleinen Blattgoldplättchen, wird durch O. Mester, den Erbauer der Mesterschen Kinematographen, bestätigt.

Ausser den Messungen ausfliessender Strahlen und Bewegungsaufzeichnungen schwimmender Körperchen beim Durchfluss durch verschieden gestaltete Gefässe (Zusammenziehung vor Seiten- und Bodenöffnungen) könnten die Wirbelbewegungen bei sinkendem Wasserstande und die gleichförmige Bewegung in Gerinnen verfolgt werden. In letzterer Hinsicht wird z. B. eine mit wechselnder Bodenneigung aufzustellende Wasserrinne, deren Seitenwände aus Glas und deren Böden aus verschieden rauhem Material bestehen, wertvolle Ergebnisse für die Vertikalgeschwindigkeiten und die Reibung des Wassers geben.

Tatsächlich sind schon Versuche, welche sich auf den Widerstand des Wassers gegen die Bewegung fester Körper beziehen, durch Professor Hele-Shaw in Liverpool 1897 und 1898 vor-

---

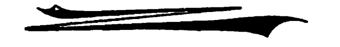
[1]) Dr. W. Wien, Hydrodynamik, Leipzig 1900.

genommen worden. Die Strömungs- und Wirbellinien wurden bei diesen Versuchen photographisch aufgenommen, indem Luftströme und farbige Glyzerinströme in das Wasser mittels Pumpen hineingepresst wurden, um die Bewegung der Wasserstrahlen sichtbar und aufnahmefähig zu machen.

Mit Recht hebt Professor Dankwerts in seiner Abhandlung über „Verwendung lebender Photographie für hydraulische Untersuchungen“ im Zentralblatt für Bauverwaltung hervor, dass derartige, jetzt mit Kinematographen auszuführende Versuche sehr wohl durchführbar sind und grossen Wert besitzen, dass sie daher aus dem Arbeitsfeld der physikalisch-theoretischen Laboratorien herausgenommen und technischen Instituten, der physikalisch-technischen Reichsanstalt, der neu gegründeten hydrologischen Versuchsanstalt, der Messbildanstalt oder andern zugewiesen werden müssen.

Die Durchführung grösserer physikalisch-technischer Probleme bedarf eines erheblicheren Aufwandes an instrumentaler Ausrüstung für die Untersuchungen und Messungen, Arbeitszeit der Beobachter und Rechner, als der Regel nach an Universitäten, Hochschulen oder von Privatleuten aufgeboten werden kann.

Die Regierungen und die massgebenden Körperschaften sollten die Wichtigkeit und Notwendigkeit des weiteren Ausbaues der für die gesamte Volkswirtschaft hochwichtigen Wasserbautechnik und die Richtigkeit und Ergänzung der hydraulischen Formeln anerkennen und die Durchführung von Versuchen, die für die Praxis von Wichtigkeit sind, veranlassen, damit die Lücken, welche in diesem dem öffentlichen Interesse so nahe liegenden Zweige der Hydrotechnik noch bestehen, nach Tunlichkeit ausgefüllt werden.



Namen- und Sachregister.

Seite

Abbot, H. C. 6
Absenkung des Wasserspiegels . 33
Ablagerungen organischer Gewächse 141
Aichung des Woltmannschen Flügels. 75
Aichverfahren 17, 115
Amsler, Dr. 118, 134
Amsler Laffon & Sohn 48, 57, 58, 67, 120
Anemometer 73, 79
Antrittsgeschwindigkeit 26
Assuan, Staudamm von —. . . . 2
Aufhängevorrichtung 58, 67
Ausflussgeschwindigkeit. 39
Ausflussgeschwindigkeit, wirkliche 40
Ausflusskoeffizienten 17
Ausflussöffnung 18

Bazin 6, 15, 28, 35
Becherrad 71, 72
Beobachtungspunkte 103, 110
Berechnung der sekundlichen Wassermenge 108, 110, 129
Bestimmung des Längengefälles des Wasserspiegels . .117, 131, 133
Boileau 3, 5
Boni 2
Braschmann 35
Bremsung von Wassermotoren 30, 105, 109, 137
Brünings 4, 80

Castel 35
Castelli 3
Cesare Cipolletti 21
Chezy Formel 137
Cole 142

Dankwerts, Prof. 147
Darcy 6, 40, 48
Dauer der Versuchsfahrt 77
Deacan. 81
Diagramme der Geschwindigkeitskurven 74, 110

Seite

Doppelschwimmer 3
Dubuatsche Formel 35
Dupuit 5

Einbau eines Überfalles. 24
Eisenlohr, Ing. 77
Ellis, General. 72
Engerth, v.. 21
Erfahrungswerte 16, 30, 32
Ermittlung des Rauminhaltes des Messprofils 100
Ertel & Sohn. 59
Eytelwein 4

Falter & Sohn 48, 50, 52
Fernregistrierung, elektrische 94, 126
Flügelradmesser 90, 93
Francis, James, B. 21, 35
Frank, Rgbmstr. 48
Frese, Prof. 32, 70, 99
Frontinus 2
Fteley & Stearns 21, 35, 73

Galilei 3
Ganguillet & Kutter 10, 12, 129, 133
Gerstner 5
Gefällsermittlung des Wasserspiegels 117, 131, 133
Gefällsverlust. 84
Geschwindigkeitsflächen. 10, 110, 113
Geschwindigkeitsgesetz 6, 10
Geschwindigkeitsgrenzen 89
Geschwindigkeitsmessung .7, 112, 131
Geschwindigkeit, mittlere 9, 110, 113, 129
Geschwindigkeit, theoretische . . 39
Gestalt der lotrechten Geschwindigkeitskurve. . . 71, 104, 109, 113
Golownin, Prof.. 50
Grashof, Prof. 5
Grenzwerte 111
Grubenzoll 20
Grundlog. 73
Guglielmini. 4

Seite
Hackenmesser 24, 32, 122
Halbertsma, H. 40
Hansen, W.. 25
Harlacher, Prof. 70, 110, 111
Hele-Shaw 146
Herodot 1
Herrenhäuser Versuche. . 24, 32, 122
Humphreys, Kapitän 6

Integration der Vertikalgeschwindigkeitskurve. 109, 111, 113
Integrieren . . 109, 111, 112, 113, 141
Integriermethode 109, 111
Integriertrommel 88
Isotachen-Kurven 99

Kanäle mit trapezförmigem Profil 104
Kategorie 11, 130
Keller, Prof. 28
Koeffizientenwerte 12
Kolbenwassermesser 90, 97
Konstantenbestimmung . . . 75, 78
Kontraktion 17, 39
Kontraktion, partielle und vollständige 17
Kugellagerung der Flügelachse . 64

Laucciani 2
Lecchi 4
Leonardo da Vinci 3
Lesbros 35
Lorgna 4
Luftlöcher 27, 31
Luftzutritt unter dem Kanal. . . 28

Massenmoment, Wirkung 18
Messbehälterschwimmer 123
Messbehälterversuche . . .27, 28, 32
Messprofil, Einteilung 101, 105, 106, 114, 116
Messprofil, ungünstige Lage . . . 107
Messung des Effektes 30, 105, 109, 137
Messung des Gefälles 106, 117, 131, 133
Messung der Wassergeschwindigkeit 106
Messung vom Schiffe aus 52, 58, 131
Messungsfehler 71, 102
Mester, O. 146
Meydenbauer, Dr.. 146
Michelotti 4
Mississippimessungen 5
Mittelwert der Geschwindigkeit 9, 110, 113, 129
Moerissee. 2
Mündungen 16, 18, 20, 39, 115

Nachsaugung 27, 81
Nassläufer 91
Nilmesser. 1

Seite
Oscillation der Wassersäulen . . 54
Ott, A. 64

Patsch, Walter W. 137
Photoregislrator 142
Piezometrische Druckhöhen . . . 82
Piezometerröhre 84, 87
Pitometer. 142
Pitot. 48, 118, 142
Poncelet 35

Rauhigkeit, Einfluss der 14, 130, 141
Rauhigkeitsgrad 11, 137
Rauhigkeitskoeffizient. . . . 11, 130
Redtenbacher, Prof.. 35
Registrierapparat. 86
Registriervorrichtung 91, 98
Robinsons Anemometer 73

Schalenflügel 71, 72
Scheibenwassermesser. 95
Schiffslog. 73
Schüngel, A. Rgbmstr. 12
Schwimmerbeobachtungen . . 44, 116
Seitenablenkungen der Wasserfäden 33
Seitenströmungen 33
Siedek, R. 13
Siemens & Halske 91
Stabschwimmer 44
Staudamm von Assuan 2
Spiegelgefälle 117, 131, 133
Stromformel 10, 13, 15, 117
Stromteiler 1

Tachometer. 16, 44, 116
Tarierung des Flügels 74, 78
Teichmann, Prof. 69
Teichmannsche Methode. 104
Tesdorpf, L. 68
Tiefenschwimmer. 44
Toricelli 3
Treviranus 79
Trockenläufer 91

Überfall, Einbau 24
Überfallkoeffizient, konstanter. . 21
Überfälle ohne Luftzutritt. . . . 27

Ventola Idraulica (Wasserfahne). 4
Venturiröhre 81
Versuchsüberfälle. . . 16, 28, 29, 36
Vertikalführung, System Amsler-Laffon 57
Vertikalführung, System Eger . . 67
Volumenmesser 96

Wasserfäden, Seitenablenkung. . 33
Wasserfahne 80

Seite
Wassergeschwindigkeit, mittlere 9, 12, 110, 113, 129
Wassergeschwindigkeit, Wechsel 9, 71
Wassermengemessungen 31, 106, 128, 134, 136, 137
Wassermengenkurve 110, 133, 134, 135, 144
Wassermesserverbindung 91
Wasserspiegel, Absenkung . . . 33
Wasserspiegel, hydrodynamischer und hydrostatischer. 50

Seite
Wasserzoll 20
Weissbach 17, 35, 75
Wex, G. v. 21
Woltmann 5
Woltmanns hydrometrischer Flügel 54

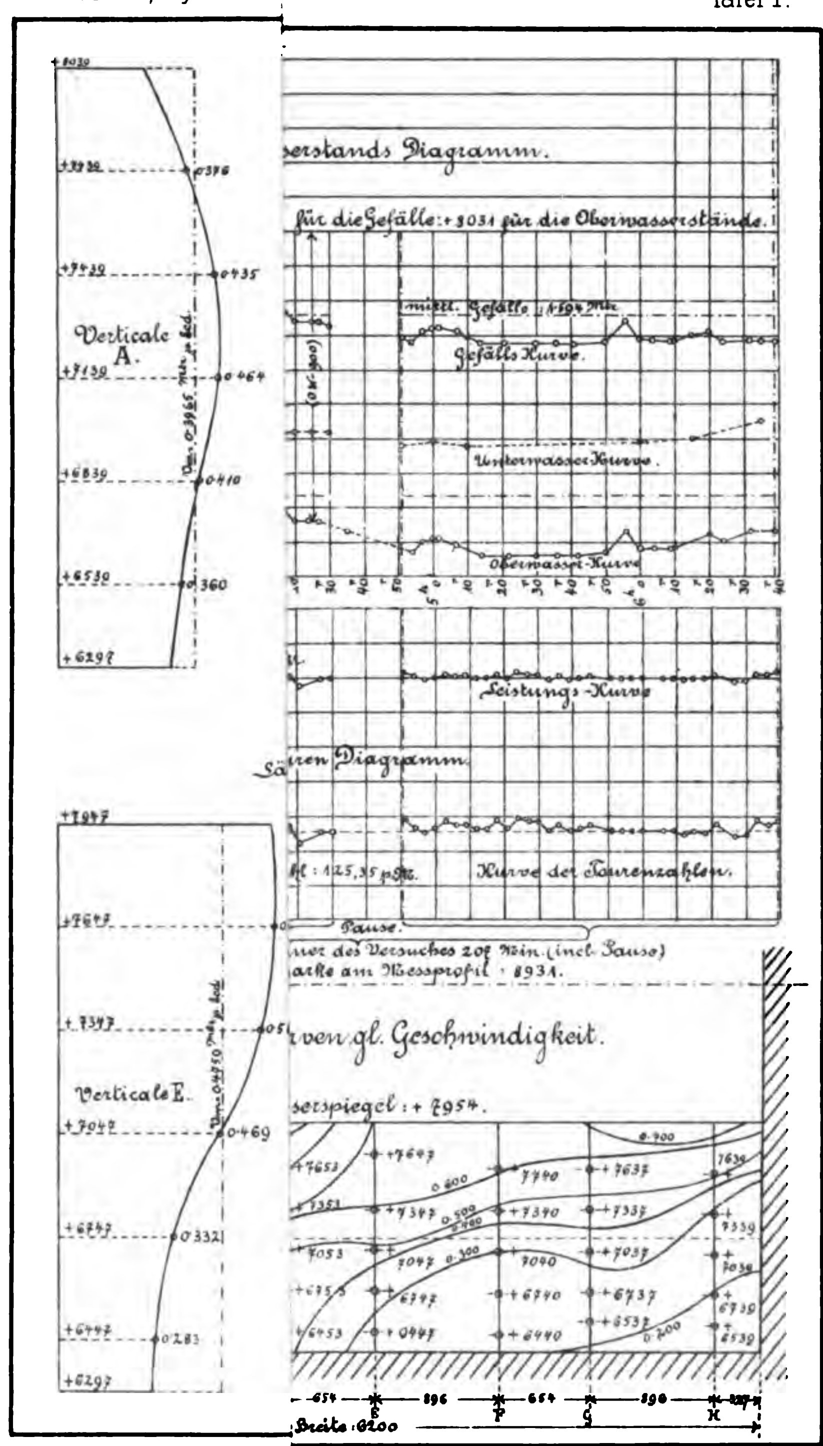
Ximenes 4

Zählinstrument 88
Zulaufgeschwindigkeit 26



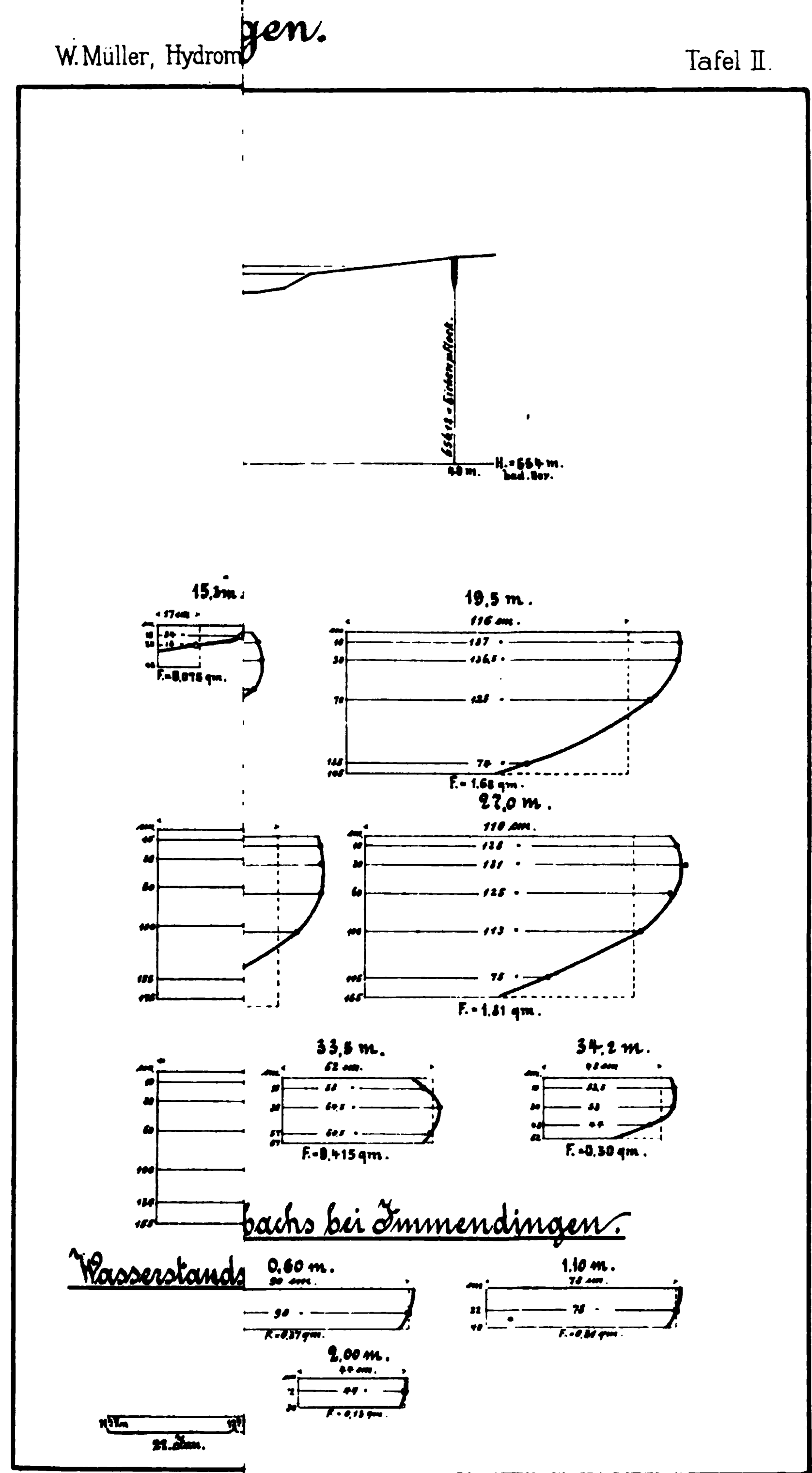
W. Müller, Hydrometri

Tafel I.

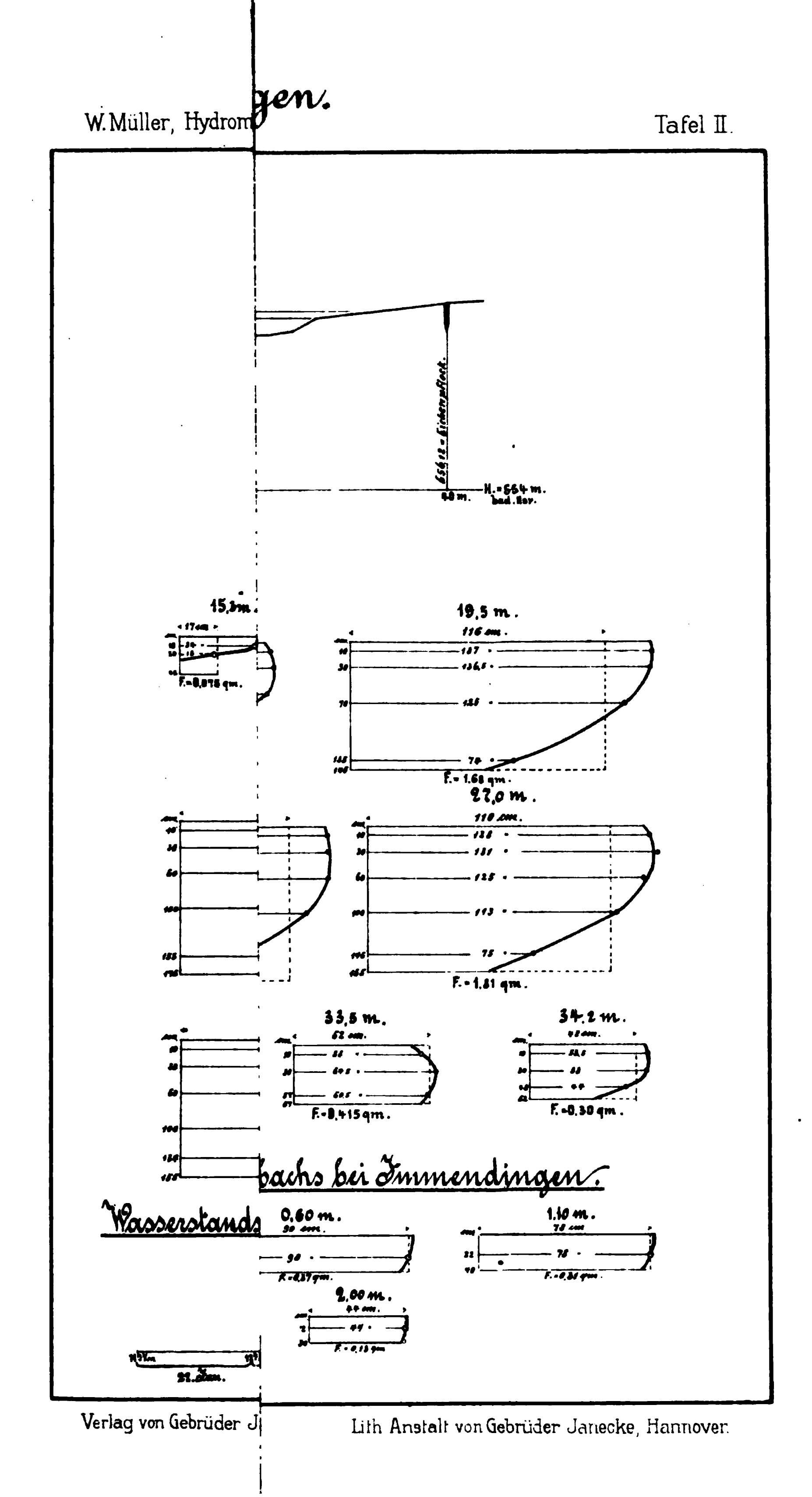


Verlag von Gebrüder Jänec

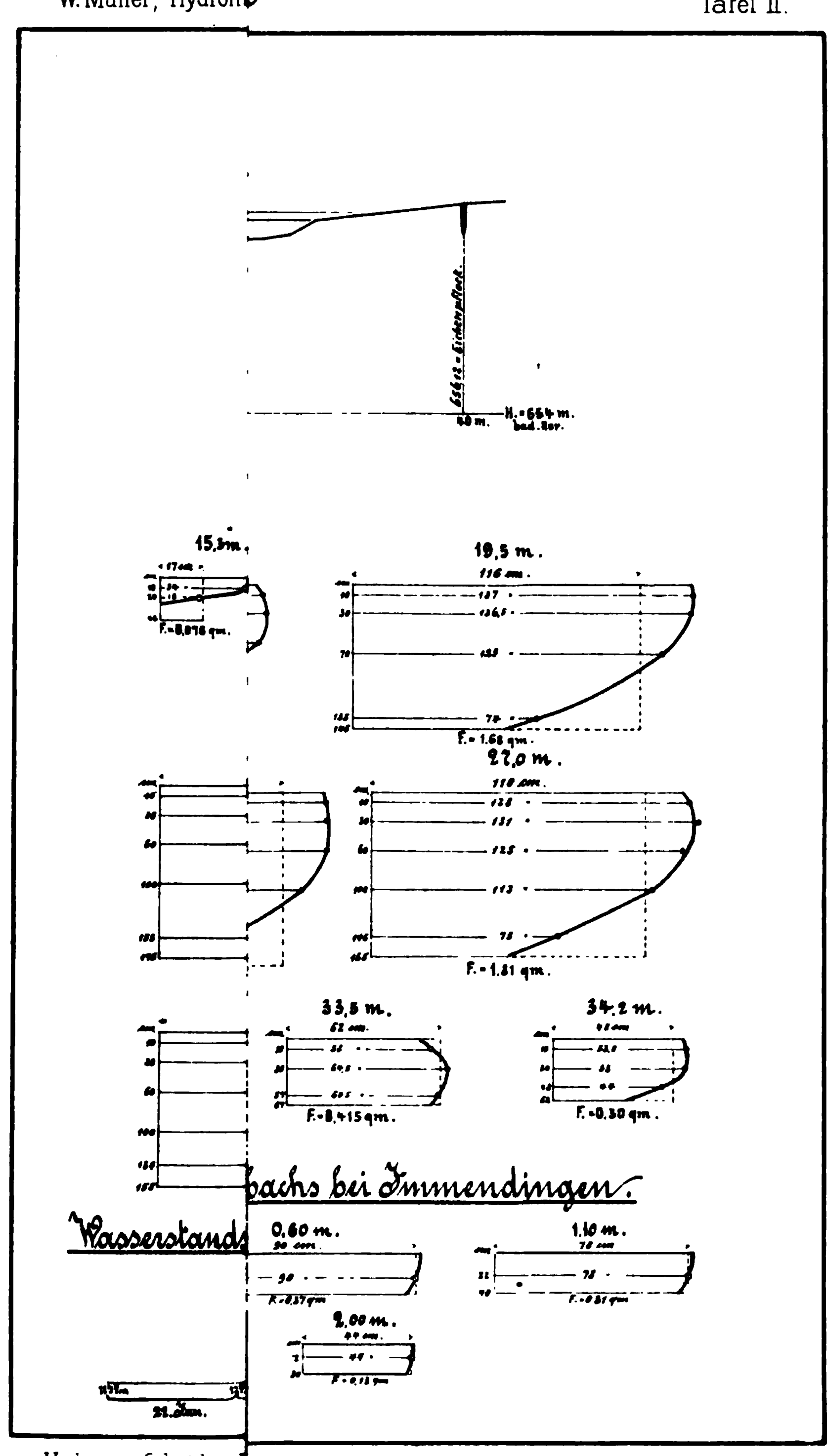
Lith. Anstalt von Gebrüder Janecke, Hannover



Verlag von Gebrüder J. Lith. Anstalt von Gebrüder Janecke, Hannover.

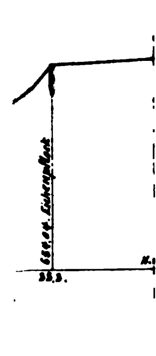


Verlag von Gebrüder J Lith Anstalt von Gebrüder Janecke, Hannover.



Verlag von Gebrüder J

Lith. Anstalt von Gebrüder Jaenecke, Hannover



13.0 m.

107 cm

117.5 "

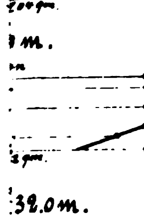
125 "

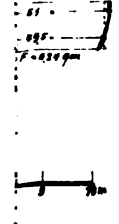
88 "

F = 0.90 qm

.0 m.

5 cm.





Empfehlenswerte

Technische Werke

aus dem Verlage

von

Gebrüder Jänecke

in

Hannover

Vervollständigt bis Juli 1903



Hannover
Verlag von Gebrüder Jänecke
1903

Verlag von Gebrüder Jänecke in Hannover

Die Montage elektrischer Licht- und Kraftanlagen. Ein Taschenbuch für Elektromonteure, Installateure und Besitzer elektrischer Anlagen. Von **H. Pohl**, Oberingenieur. Mit 328 in den Text gedruckten Beispielen und Schaltungen. Geb. Mk. 4,40.

. **Die Fa. Hartmann & Braun A.-G. in Frankfurt a. M.** schreibt über das Buch:

„Es gereicht uns zur besonderen Freude, Ihnen mitteilen zu können, dass wir das Buch eingehend durchgesehen haben und wir dasselbe von den uns bekannten deutschen Büchern dieser Art für weitaus das beste halten. Wir werden nicht verfehlen, das kleine Werk überall zu empfehlen."

Die Krankheiten elektrischer Maschinen. Kurze Darstellung der Störungen und Fehler an Dynamomaschinen, Motoren und Transformatoren für Gleichstrom, ein- und mehrphasigen Wechselstrom für den praktischen Gebrauch der Installateure. Von **Ernst Schulz**, Ingenieur. Mit 42 Figuren im Text. Geb. Mk. 1,75.

Eine zwölfjährige Praxis als Konstrukteur hat dem Autor Tausende von Maschinen aller Art durch die Hände gehen lassen, so dass derselbe dem Thema durchaus gewachsen ist. Im allgemeinen sind nur die im Betriebe auftretenden Fehler und Störungen in die Erörterung gezogen, zuweilen jedoch auch Fabrikationsfehler und solche Mängel, die in der Berechnung und Konstruktion ihre Ursache haben.

Elektrische Apparate für Starkstrom. Anleitung zu deren Konstruktion und Fabrikation sowie zum Aufbau von Schalttafeln. Von **Georg J. Erlacher**, Ingenieur. Mit 131 Abbildungen im Text und auf 10 Tafeln. Geb. Mk. 8,—.

Ausgestattet mit mehr als 12jähriger Erfahrung auf dem Gebiete des Apparatenbaues will der Verfasser in dieser Monographie der Schalt-, Sicherungs- und Regulierapparate die Grundsätze darlegen, welche den Apparatenbau beherrschen sollen, und dem Konstrukteur zeigen, nicht nur wie gute Apparate aussehen, sondern auch wie man dieselben rationell fabriziert.

Das Buch von Erlacher ist das erste Werk, welches die Konstruktionsgrundsätze des Apparatenbaues zusammenhängend behandelt.

Konstruktion und Prüfung der Elektrizitätszähler. Von **A. Königswerther**, Ingen. Mit 362 Abbildungen. Gebunden Mk. 9,—.

Die Einteilung des Stoffes entspricht dem Werdegang des Elektrizitätszählers. Im ersten Teile sind die hauptsächlichsten Gleichungen gegeben, welche den Konstruktionen, die im zweiten Teile behandelt sind, zu Grunde liegen. Der dritte Teil schliesslich umfasst die Einrichtungen der Prüfämter und die Prüfverfahren.

Ein französischer Ingenieur schreibt über das Werk von Königswerther:

„Je n'ai pas trouvé en France et à l'étranger d'autre livre que le vôtre traitant à fond la question de l'essai des Compteurs."

Verlag von Gebrüder Jänecke in Hannover

Genauigkeitsuntersuchungen für Längenmessungen mit besonderer Berücksichtigung einer neuen Vorrichtung für Präzisions-Stahlbandmessung. Von Dr. **Hans Löschner**, Ingenieur. Mit 15 Abbildungen im Text. Brosch. Mk. 1,60.

Tiefbauzeichnen. Vorschule für das Fachzeichnen im Tiefbauwesen. 32 Vorlageblätter für den Unterricht an Baugewerk- und Tiefbauschulen, gewerblichen Fortbildungs-, Fach- und Handwerkerschulen. Entworfen und gezeichnet von Ingenieur **Julius Hoch**, Oberlehrer an der Baugewerkschule zu Lübeck. 32 Tafeln in Mappe mit einem Vorwort. Preis Mk. 13,50.

Das **„Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens“** sagte über das Werk:

„Die dem Gebiete des städtischen Bauwesens, den Kanälen, Leitungen, Strassenbefestigungen, Erdarbeiten, dem Strassenbau, den Strassenbahnen u. s. w. entnommenen Vorlagen sind in schwarzem Umdrucke, grossen Massstäben und einfacher, übersichtlicher Behandlungsweise dargestellt. Der Atlas dürfte nicht nur seine Aufgabe als Vorlage beim technischen Zeichenunterricht erfüllen, sondern in vielen Fällen auch zur Entnahme von Mustern bei Ausführung städtischer Bauten benutzbar sein.“

Konstruktion neuerer deutscher Brückenbauten. Von A. Rieppel, Direktor der Maschinenbau-A.-G. Nürnberg. Mit Textabbildungen und 2 Tafeln. Sonderabdruck aus der Zeitschrift für Arch.- und Ing.-Wesen. Brosch. Mk. 1,50.

Die Bremerhavener Hafen- und Dockanlagen und deren Erweiterung in den Jahren 1892—1899. Von Baurat **R. Rudloff**, Baumeister **F. Claussen** und Ingenieur **O. Günther.** Mit 20 Abbildungen im Text und 14 Tafeln. Sonderabdruck aus der Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen. Gebunden Mk. 20,—.

Die Bremerhavener Hafenanlagen sind eine der grossartigsten Schöpfungen der modernen Wasserbautechnik und wegen ihrer vorbildlichen Bedeutung für jeden Fachmann von Interesse.

Die Wasserverhältnisse im Gebirge, deren Verbesserung und wirtschaftliche Ausnutzung. Von **O. Intze**, Geh. Reg.-Rat, Professor an der Technischen Hochschule zu Aachen. Sonderabdruck aus der Zeitschrift für Arch.- und Ing.-Wesen. Brosch. Mk. 2,—.

Wehranlage und Elektrizitätswerk Untertürkheim. Nach amtlichen Quellen bearbeitet. Von **Wilhelm Müller**, Ingenieur. Mit 14 Abbildungen, Tabellen, 1 Lageplan und 5 Tafeln. Broschiert Mk. 3,—.

Das neue in den Jahren 1900/02 erbaute Gemeinde-Elektrizitäts- und Wasserwerk bezweckt die Ausnutzung der Wasserkraft des Neckars bei Untertürkheim und ist eine der interessantesten Anlagen ihrer Art, da dieselbe nur auf Grund einer Einigung verschiedener Wasserkraftbesitzer, die ihre Einzelrechte aufgeben mussten, zustande kommen konnte. Allein durch den Verzicht der Werksbesitzer auf ihre Anteile war die Möglichkeit geboten, die bisher getrennten Wasserkräfte von zusammen 120 PS. zu vereinigen und auf eine Wasserkraft von 400—700 PS. effektiv zu erhöhen. Für die abgegebene Wasserkraft hat die Gemeinde Untertürkheim während der Dauer von 100 Jahren unentgeltlich elektrische Energie zu liefern.

Lehrbuch der Mauerwerks-Konstruktionen von Ludwig Debo, Geheim. Regierungsrat, Baurat und Professor a. D. Mit 508 Textabbildungen. Broschiert Mk. 9,—, gebunden Mk. 10,—.

Die „Wiener Bauindustriezeitung" sagte über das Werk:

„Das vorliegende Werk über Mauerwerks-Konstruktionen zeichnet sich dadurch aus, dass es nicht allein die formale Seite der Herstellungen behandelt, sondern auch dieselben durch statische Rechnung und unter Rücksichtnahme auf die Eigenschaften der Baumaterialien, begründet. Zunächst bespricht der Autor die Eigenschaften der natürlichen, der künstlichen Steine und der Mörtel. Hierauf wendet sich derselbe einigen Fragen zu, die nur selten in Lehrbüchern der Baukonstruktionslehre zur Behandlung kommen. Aus dem reichen Materiale nennen wir nur einige wenige Abschnitte wie: Dauerhaftigkeit der Steine, Bergfeuchtigkeit, Anlegen des Mauerwerkes, Reinigen der Steine und Annässen, Setzen des Mauerwerkes infolge Schwindens des Mörtels, Anschluss neuer Mauern an alte, Austrocknen der Mauern, Luftdurchlässigkeit der Mauern. Die folgenden Abschnitte sind den Mauern aus künstlichen und natürlichen Steinen gewidmet. Hierauf gelangen zur Abhandlung: Mauern aus Beton, aus Mörtelmassen und aus Erde, Festigkeit des Mauerwerkes, Ueberdeckung von Maueröffnungen, Erddruck und Futtermauern, Fundamentmauern, die Grundmauern und Wände der Gebäude, Gewölbe und Einfriedigungsmauern. Alle Abschnitte sind reich illustriert und hat der Autor, aus dem reichen Schatze seiner Erfahrung schöpfend, es wohl verstanden, in dem Werke eine höchst verdienstvolle Arbeit und ein ausgezeichnetes und brauchbares Lehrbuch zu schaffen."

Die Bedeutung des Bürgerlichen Gesetzbuches für das Bauwesen. Von Heinrich Eucken, Assessor beim Rate zu Dresden. Mit wörtlichem Abdruck der hauptsächlich in Betracht kommenden Gesetzesstellen. Broschiert Mk. —,75.

Der Verfasser legt klar, in welcher Weise das B. G.-B. in Beziehung tritt zu der baulichen Tätigkeit und den hiermit in Zusammenhang stehenden Verhältnissen. Das Büchlein gibt eine gute Uebersicht über die vielfachen und wesentlichen Bestimmungen des B. G.-B., es sei nur an die des Werkvertrags, über die Hypothek der Bauhandwerker u. s. w. erinnert, und ist daher allen Architekten, Bauunternehmern, Bauhandwerkern u. s. w. bestens zu empfehlen.

Die Franz Josef-Brücke zu Budapest. Von Julius Seefehlner, techn. Direktor der Königl. ungar. Staats-Maschinenfabrik zu Budapest. Mit 13 Textabbild. und 6 lithographischen Tafeln. Sonderabdruck aus der Zeitschr. für Arch. und Ing.-Wesen. Brosch. Mk. 5,—.

Beiträge zur Geschichte der Ornamentik. Von W. Jänecke, Reg.-Baumeister. I. Ueber die Entwicklung der Akanthusranke im französischen Rokoko. Dargestellt an Stichen französischer Meister in der Zeit von 1650—1750. Mit 57 nach den Originalen gezeichneten Abbildungen. Broschiert Mk. 2,—.

Das „Zentralblatt der Bauverwaltung" (Berlin) sagte über die Arbeit:

„Die dankenswerte Arbeit behandelt die im 17. und 18. Jahrhundert unter dem Einflusse der Naturvorbilder der antik-römischen und italienischen Grotesken allmählich sich vollziehende Veränderung und Verbildung des Akanthuslaubwerks, sowie die Verschmelzung des aus der maurischen Kunst stammenden Bandornaments und eine Reihe dekorativer Motive der ostasiatischen Porzellan-Malkunst mit der antiken, streng gezeichneten Akanthusranke. Der Vorgang der Umbildung ist durch Hervorhebung der wichtigsten Typen, in denen sich bestimmte allgemeine Gesetze bemerkbar machen, wissenschaftlich mit grossem Geschick erklärt."

Verlag von Gebrüder Jänecke in Hannover

Wasser- und Gasanlagen. Handbuch der Wasserbeschaffung, Bewässerung, Entwässerung und Gasbeleuchtung. Von Ingenieur **Otto Geissler**. Mit 159 Abbildungen im Text. Brosch. Mk. 6,60, geb. Mk. 7,50.

„**Der Bautechniker**“ **in Wien** schreibt über das Werk:

„Bei Durchsicht dieses Werkes bemerkt man sofort, dass der Verfasser genau wusste, was dem angehenden Installateur zu wissen nötig ist, um sich so rasch als möglich in seinem Fache zu orientieren. Mit Hinweglassung aller für diesen Zweck überflüssigen Theorie werden die wesentlichsten Teile der Bewässerungs- und Entwässerungsanlagen, der Wasserbeschaffung und Gasbeleuchtung insoweit ausführlich besprochen und durch Abbildungen erläutert, als es für den Praktiker erforderlich ist.

Wenn auch der Bau der Wasserwerke, Kläranlagen und Rieselfelder in dem vorliegenden Werke erwähnt wurde, so ist doch auf die Einrichtungen des Einzelgrundstückes, welche zu kennen dem Installateur am nötigsten ist, das Hauptgewicht gelegt. Ein grösserer Raum wurde auch den Klosetts- und Pissoiranlagen, Kücheneinrichtungen, Bade- und Waschanlagen gewidmet.“

Rauchplage und Brennstoffverschwendung und deren Verhütung. Von **Ernst Schmatolla**, dipl. Hütten-Ingenieur. Mit 68 in den Text gedruckten Figuren. Preis brosch. Mk. 2,50.

Die „**Deutsche Maschinisten- und Heizer-Zeitschrift**“ sagte über das Werk:

„Ueber die Rauchplage ist schon unendlich viel geschrieben und gesprochen worden und doch herrschen in Bezug auf dieselbe noch vielfach falsche Vorstellungen. Noch wichtiger aber als die Rauchfrage ist in volkswirtschaftlicher Beziehung die Brennmaterialverschwendung, welche in vielen Betrieben konstatiert werden muss. In klarer Weise lehrt der Verfasser zunächst die chemischen und physikalischen Vorgänge beim Verbrennungsprozess, Erzeugung und zweckmässige Ausnutzung der Wärme. Darauf lehrt er, wie eine vorhandene Anlage mit einfachen Mitteln durch Einbau von Schamottemauerwerk verbessert werden kann, gibt eine kurze Beschreibung der bekannten Feuerungseinrichtungen und zum Schluss eine Anweisung über die Durchführung und den Nutzen von Rauchgasanalysen. Es kann jedem, dem daran gelegen ist, das Brennmaterial gut auszunutzen, also an Ausgaben zu sparen, das Studium dieses Werkes empfohlen werden.“

Die Gaserzeuger und Gasfeuerungen. Von **Ernst Schmatolla**, dipl. Hütten-Ingenieur. Mit 66 Abbildungen. Preis brosch. Mk. 3,—.

Die „**Chemiker-Zeitung**“ **(Cöthen)** sagte über das Werk:

„Nachdem sich auf allen Industriegebieten die Erkenntnis Bahn gebrochen hat, dass die vorhandenen Feuerungssysteme die kalorische Ausnutzung der Brennstoffe nur in unvollkommener Weise gestatten und dass einer Wärmeverschwendung jahraus jahrein mit offenen Augen Vorschub geleistet werden muss, zu einer Zeit, da man bereits eine Erschöpfung der Kohlenlager in Erwägung zieht, hat sich allenthalben das Bestreben gezeigt, durch eine bessere Gestaltung der Feuerungseinrichtungen die höchste Ausnutzung des Energiestoffes zu erreichen. Der Wert der Gasfeuerung zur Erreichung dieses Zieles wird allseitig anerkannt, und es haben die dienlichen Einrichtungen (Generatoren), je nach Art des Brennstoffs und des Zweckes, eine Ausgestaltung nach mehrfacher Richtung erfahren. In des Verfassers Schrift wird eine kurze Uebersicht dessen gegeben, was dem für Gasfeuerung sich interessierenden Konstrukteur oder Fabrikanten zunächst wissenswert erscheint. Eine gemeinverständliche Einleitung belehrt über das Wesen der Gasfeuerung im Hinblick auf die sich vollziehenden kalorischen und chemischen Vorgänge. Von besonderem Interesse erscheinen die Abschnitte über Generatoren für Holz, Torf, Braunkohle, Steinkohle, in Rücksicht auf die den bezüglichen Brennstoffen angepasste Bauart. Auch das Mischgas (Dowsongas) und Wassergas kommen zur Behandlung, sofern diese zur industriellen Feuerung Anwendung finden. Das Werkchen des als praktischer Fachmann bekannten Verfassers kann jedem, der sich auf dem Gebiete des Feuerungswesens zu orientieren wünscht, aufs beste empfohlen werden.“ Dr. Otto Pfeiffer.

Repetitorium der Organischen Chemie mit besonderer Rücksicht auf die Studierenden der Medizin und Pharmazie bearbeitet von **Adolf Pinner.** Elfte Auflage. Broschiert Mk. 7,50, gebunden Mk. 8,—.

In der „**Chemischen Industrie**" schrieb Geheimrat Witt über das Werk:

„Pinners Repetitorium der organischen Chemie gehört zu den beliebtesten und am weitesten verbreiteten kleineren Lehrbüchern. Es zeichnet sich aus durch die ausserordentliche Klarheit und Durchsichtigkeit, mit welcher in ihm das gesamte System der modernen organischen Chemie entwickelt ist. Aus diesem Grunde eignet es sich ganz vorzüglich zur Vorbereitung für ein Examen, wie dies auch schon in seinem Titel angedeutet ist. Obgleich es nicht umfangreich ist, so kann man doch sagen, dass derjenige, der seinen Inhalt sich zu eigen gemacht hat, vollkommen ausgerüstet und imstande ist, die weitere chemische Literatur mit Erfolg zu studieren und so sein Wissen zu vertiefen.

Die Tatsache, dass das Werk nun schon in elfter Auflage vorliegt, zeugt besser als Worte für seine Brauchbarkeit und Beliebtheit. Trotzdem will es uns nicht überflüssig scheinen, aufs neue darauf hinzuweisen, dass ein derartiges Werk existiert, aus welchem mit leichter Mühe sich auch derjenige einen Ueberblick über die organische Chemie aneignen kann, der dieselbe nicht zu seinem Spezialstudium machen will. Die Notwendigkeit elementarer Kenntnisse der organischen Chemie für jeden Chemiker, er mag seine späteren Aufgaben suchen, wo immer er wolle, kann nicht häufig genug betont werden. Ohne die Kenntnis der Chemie des Kohlenstoffs ist auch eine gediegene Ausbildung zum Anorganiker ein Ding der Unmöglichkeit."

Repetitorium der Anorganischen Chemie mit besonderer Rücksicht auf die Studierenden der Medizin und Pharmazie bearbeitet von **Adolf Pinner.** Mit 27 Figuren. Zehnte Auflage. Brosch. Mk. 7,50, geb. Mk. 8,—.

Die Pinnerschen Repetitorien sollen den Studierenden der Chemie und namentlich Pharmazeuten und Medizinern als Leitfaden neben dem chemischen Kolleg dienen. — Die neuen Auflagen, wohl der beste Beweis für die Beliebtheit der Repetitorien, entsprechen dem jüngsten Stande der Wissenschaft.

Prinzipien der organischen Synthese. Von Dr. **Eugen Lellmann,** Privatdozent der Chemie an der Universität Tübingen. Broschiert Mk. 10,—, geb. Mk. 11,—.

Das Lellmannsche Werk ist eine Ergänzung sämtlicher Hand- und Lehrbücher über organische Chemie, indem es eine systematisch geordnete Darstellung der für die Chemie des Kohlenstoffs wichtigen synthetischen Methoden und somit eine Bearbeitung aller Reaktionen von nachweislich allgemeinem Charakter gibt.

Geschichte der Sprengstoffchemie, der Sprengtechnik und des Torpedowesens bis zum Beginn der neuesten Zeit. Von **J. S. von Romocki.** Mit einer Einführung von Dr. Max Jähns, Oberstleutn. a. D. Mit vielen Reproduktionen von alten Handschriften, Malereien, Stichen etc. Brosch. Mk. 12,—, gebunden Mk. 14,50.

Die rauchschwachen Pulver in ihrer Entwicklung bis zur Gegenwart. Von **J. S. von Romocki.** Mit vielen Abbildungen. Brosch. Mk. 10,—, geb. Mk. 12,50.

Die Rostschutzmittel und deren Wertbestimmung. Von Dr. **Julian Treumann.** Sonderabdruck aus der Zeitschrift für Arch. und Ing.-Wesen. Brosch. Mk. 2,—.

Verlag von Gebrüder Jänecke in Hannover

Aus der Praxis der Anilinfarbenfabrikation. Von Dr. Johann Walter. Mit 116 Abbildungen im Text und 12 Tafeln. Gebunden Mk. 22,—.

Geheimrat Witt sagte in der „Chemikerzeitung“ Cöthen, über das Werk:

„Der Verfasser des angezeigten Buches stellt sich auf den Standpunkt, dass es von Interesse ist, auch einmal die technischen Details der Farben-Industrie zu diskutieren. Er ist längere Zeit als Leiter eines bestimmten Betriebes in einer grösseren Farbenfabrik tätig gewesen und hat in dem angezeigten Werke die dabei von ihm gesammelten Erfahrungen bis in die kleinsten Details hinein der Oeffentlichkeit übergeben. Er schildert die technischen Schwierigkeiten, die ihm im Verlaufe seiner Tätigkeit begegneten, und die Art und Weise, wie er sie zu überwinden wusste. Er geht dabei namentlich auf die Frage der Apparatur auf das genaueste ein und beschreibt vielfach ausführlich, wie er sich alle von ihm benötigten Apparate konstruierte und zu möglichst sicherem und bequemem Betriebe ausgestaltete. Er geht auch ein auf die für solche Betriebe erforderliche Buchführung und Kontrolle und entwirft so ein anschauliches Bild eines Einzelbetriebes aus einer Farbenfabrik. Da der von ihm geleitete Betrieb das Safranin betraf, einen Farbstoff, der bezüglich apparativer Vorkehrungen Ansprüche stellt, die nicht zu den allereinfachsten gehören, so ist vieles von dem, was Verfasser uns lehrt, ohne weiteres auch auf andere Betriebe der Farben-Industrie übertragbar, und Verfasser unterlässt es nicht, darauf gelegentlich hinzuweisen.

Es mag von vornherein zugegeben werden, dass die vom Verfasser geschilderte Ausgestaltung seines Betriebes vielleicht keine endgültige Form der Safraninfabrikation darstellt und dass in manchen Fabriken Einrichtungen existieren mögen, welche die hier geschilderten ergänzen und vervollkommnen könnten. Aber das raubt dem Buche nichts von seinem Interesse und seiner Bedeutung. Der erfahrene Farbenstofftechniker wird vieles in ihm finden, was ihm bekannt ist und was selbstverständlich erscheint, er wird aber kaum so erfahren sein, dass er nicht auch noch eine oder die andere Anregung aus dieser Veröffentlichung entnehmen könnte. Ganz besonders aber kann das Werk dem angehenden chemischen Techniker zum Studium empfohlen werden. Er wird aus ihm nicht nur manches lernen, was ihm später sehr zu statten kommen kann, sondern er wird vor allem einen Begriff davon bekommen, welcher Aufwand an Arbeit und Nachdenken erforderlich ist, um ein in seinen chemischen Grundlagen feststehendes Verfahren, welches sich im Laboratorium mit Hülfe von wenigen Kolben, Schalen und Trichtern durchführen lässt, in den wirklichen regelmässigen Fabrikationsbetrieb zu übertragen.“

Chemische Aequivalenztabellen für die Praxis zur schnellen Ermittlung der Beziehungen zwischen Ausgangsmaterial und Produkt für Chemiker, Techniker und Fabrikanten. Von **A. Gimbel** und **K. Almenräder**, Drs. phil. Gebunden Mk. 3,—.

Die „Chemische Zeitschrift“ (Leipzig) sagte über das Werk:

„Das in Form einer Tabelle zusammengestellte Buch gibt in der ersten Spalte in deutscher Nomenklatur Namen und Formel des darzustellenden Präparates, daneben in einer zweiten Spalte die zur Darstellung der Gewichtseinheit theoretisch nötigen Mengen der Ausgangsmaterialien, letztere durch ihre chemische Formel bezeichnet. Eine dritte Spalte gibt die aus 1 Teil Material entstehende Menge Produkt, z. B.: Zur Darstellung von 1 Teil Acetylen C_2H_2 sind nötig 2,463 CaC_2 und 1,385 H_2O. 1 Teil CaC_2 liefert 0,406 Teile C_2H_2, 1 Teil H_2O 0,722 Teile C_2H_2. Eine Hülfstabelle gibt die Faktoren an, mit welchen die in der Haupttabelle mit 100 Prozent angenommenen Mengen zu multiplizieren sind, falls es sich um andere Stärkegrade oder um äquivalente Materialien handelt, bei Flüssigkeiten mit Angabe der Dichte.

Das Werk ist aus dem chemischen Betriebe heraus geschaffen worden und wird allen, welche chemische Prozesse zu berechnen haben, hoch willkommen sein, da es durch seine Handlichkeit, wie den Umfang der berücksichtigten Reaktionen gleich ausgezeichnet ist und umständliche Rechnungen erspart.“

Lehrbuch der Chemischen Technologie. Von Dr. H. Ost, Professor der technischen Chemie an der Technischen Hochschule Hannover. Mit einem Schlussabschnitt „**Metallurgie**", bearbeitet von Dr. **Friedrich Kolbeck**, Professor an der Bergakademie in Freiberg (Sachs.) Fünfte umgearbeitete Auflage. Mit 253 Abbildungen im Text und 9 Tafeln. Gebunden in Halbfranzband Mk. 15,—.

In der „**Rigaschen Industriezeitung**" sagte Herr Professor M. Glasenapp über das Werk:

„Das bekannte Ostsche Lehrbuch der chemischen Technologie hat seit seinem Erscheinen im Jahre 1890 eine rasche Folge neuer Auflagen zu verzeichnen, welche wohl den besten Beweis dafür liefern, dass der Verfasser in der Behandlung des Stoffes das Richtige getroffen hat. In der Tat hat das Ostsche Lehrbuch eine Reihe von Vorzügen aufzuweisen, die seine Beliebtheit und seine weite Verbreitung durchaus rechtfertigen. Der Umfang, in welchem die einzelnen Industrieen abgehandelt worden sind, entspricht demjenigen, in welchem die allgemeine chemisch Technologie an den technischen Hochschulen bezw. Universitäten vorgetragen werden kann. Die Vermeidung aller für den Studierenden — für desen ist das Lehrbuch in erster Linie bestimmt — überflüssigen Details wahrt die so notwendige Uebersicht über das ausgedehnte Gebiet. Die mustergültige Knappheit des Ausdruckes lässt nirgends die entsprechende Präzision und Klarheit vermissen. Die für die chemische Praxis so wichtigen mechanischen Operationen der chemischen Technik sind mit genügender Ausführlichkeit behandelt und durch eine grosse Zahl guter Abbildungen moderner maschineller Hülfsmittel und Apparate illustriert. Nur die tatsächlich in der Praxis angewandten Verfahren sind beschrieben, diejenigen, die nur noch in Büchern ein verborgenes Dasein fristen, nach Gebühr vermieden worden; so gibt das Buch eine geschlossene Uebersicht über den Stand der modernen chemischen Industrieen. Die rasche Entwicklung der letzteren hat für jede Auflage eine entsprechende Umarbeitung notwendig gemacht, und eine solche hat auch bei der vorstehenden 5. Auflage in mehreren Abschnitten (Schwefelsäure, Elektrolyse der Chloralkalien, Tonerdeverbindungen, Indigo, Gasbeleuchtung etc.) stattgefunden."

Das Mikroskop im chemischen Laboratorium. Elementare Anleitung zu einfachen kristallographisch-optischen Untersuchungen. Von Dr. **F. Rinne**, Professor an der Technischen Hochschule zu Hannover. Mit 202 Figuren im Text. Gebunden Mk. 4,—.

Die „**Bayrische Zeitschr. für Realschulwesen**" (München) sagte über das Werk:

„Der Verfasser will mit dem vorliegenden kleinen Werk Studierende der Chemie mit den elementaren Verhältnissen der Kristalloptik bekannt machen, soweit sie für kristallographische Untersuchungen leicht anwendbar ist, und wünscht unter anderem, das Polarisationsmikroskop möge sich in den chemischen Laboratorien der höheren Unterrichtsanstalten mehr und mehr einbürgern.

Der Zweck des Büchleins ist demnach ein hervorragend wichtiger, und das prächtige Werkchen ist vorzüglich geeignet, zur Erfüllung des vom Verfasser ausgesprochenen Wunsches beizutragen."

Die „**Chemiker-Zeitung**" (Cöthen) sagte über das Werk:

„Zur Charakterisierung kristallisierter Laboratoriumsprodukte werden bekanntlich ihre morphologischen Eigenschaften gern herangezogen. Auch die optischen Erscheinungen, welche die Kristalle bei der Untersuchung mittels des sogen. Polarisationsmikroskopes aufweisen, lassen sich mit gutem Erfolg hierzu verwerten. Der Gebrauch dieses für den Krystallographen unentbehrlichen Instrumentes ist indes in chemischen Laboratorien noch wenig verbreitet. Vorliegende Anleitung ist durch ihre leicht verständliche Darstellung und mit grossem Geschick ausgewählten instruktiven Abbildungen in hohem Masse geeignet, den Chemiker mit den elementaren Verhältnissen der Kristalloptik bekannt zu machen, soweit sie für kristallographische Untersuchungen leicht verwendbar ist und, wie noch besonders hervorgehoben werden mag, auch zu Bestimmungen in der mikrochemischen Analyse dient. Sehr erleichtert werden dürfte das Verständnis der optischen Eigenschaften der Kristalle noch durch das Studium der kleinen Sammlung von Uebungsbeispielen, welche Rinne im Anhange gibt.
Hermann Traube."

Verlag von Gebrüder Jänecke in Hannover

Verlag von Gebrüder Jänecke in Hannover

Die Francis-Turbinen und die Entwicklung des modernen Turbinen-

Verlag von Gebrüder Jänecke in Hannover

Das Buch der Berufe

beschränkt sich nicht darauf, nur die Vorbedingungen für die Beziehung der Universität oder der technischen Hochschule, für das Ergreifen dieser oder jener Beamtenlaufbahn, dieses oder jenes bürgerlichen Berufes aufzuzählen, sondern die von Fachleuten verfassten einzelnen Darstellungen suchen ein wirklich allgemeines Bild der verschiedenen Berufe in tiefer Erfassung der Eigenart, in ihrem materiellen und idealen Wesen, in ihren äusseren materiellen wie in ihren moralischen Anforderungen zu geben. Sie legen Gewicht darauf, den Wählenden in die Lage zu setzen, dass er sich auch die Frage beantworten kann, ob er den Anforderungen in physischer, geistiger, wie moralischer Hinsicht wird zu genügen vermögen, ob er darin für die Dauer Befriedigung finden kann, ob seine materiellen Erwartungen darin erfüllt werden können. Je früher der junge Mann sich mit dem Inhalte dieser Darstellungen bekannt macht, desto eher und sicherer wird er seine Wahl treffen und seinen Studiengang danach einrichten können. Dass das rechtzeitig und dann auch in der richtigen Weise geschieht, davon hängt das Glück des späteren Lebens, die Zufriedenheit und die Möglichkeit ab, seine Kräfte und die Fähigkeiten völlig zu betätigen, seinen Platz im Leben auszufüllen. Nicht wenige gehen körperlich und sittlich zugrunde, weil sie in ihrem Berufe keine Befriedigung gefunden, weil sie ihn nicht auszufüllen vermögen.

Herr Generalsekretär Dr. W. Beumer sagte über **Das Buch der Berufe** in „Stahl und Eisen“:

„Das vorstehende Unternehmen ist unserer Meinung nach ein sehr bedeutungsvolles und entspricht einem tatsächlich vorhandenen Bedürfnis. Es ist nicht zu verwechseln mit den nach Hunderten zählenden Büchern über die Berufswahl, die ein Kompendium der Vorschriften über die Berechtigungen unserer höheren Lehranstalten, die Vorbedingungen zur Aufnahme in die Universität, die technische Hochschule und dergl. enthalten, sondern hier liegt eine vertiefte, von Fachleuten geschriebene Darstellung der einzelnen Berufsarten und ihrer Aufgaben vor, die einen wirklichen Einblick in das Wesen des betreffenden Berufes gestattet. Sie bildet somit nicht allein für die Eltern einen Ratgeber bei der schweren Frage der Berufswahl für ihre Söhne, sondern für die letzteren nach geschehener Berufswahl auch ein vortreffliches Vademekum für die erste Zeit des Studiums. Wir begrüssen deshalb das Unternehmen mit besonderer Freude und glauben, dass sich die bisher erschienenen Bände unter dem Weihnachtsbaum manches deutschen Eisenhüttenmannes finden werden, da sie sich vortrefflich als Weihnachtsgabe eignen. Die Verlagshandlung ist seitens der grossen industriellen Werke und der Schiffahrtsunternehmungen bezüglich der Illustrationen in zuvorkommendster Weise unterstützt worden, so dass die letzteren nicht allein ein Schmuck, sondern eine wesentliche materielle Bereicherung der vornehm ausgestatteten Bände bilden.“

16